

**HERRAMIENTA COMPUTACIONAL PARA UN ANÁLISIS FORMAL DE MODELOS DE
DINÁMICA DE SISTEMAS BAJO EL MÉTODO LOOP EIGENVALUE ELASTICITY
ANALYSIS (LEEAE) CON SOPORTE A MODELOS DE GRAN ESCALA**

ESNEYDER RAFAEL GONZÁLEZ PONZÓN

**UNIVERSIDAD DEL NORTE
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
MAESTRIA EN INGENIERIA INDUSTRIAL
BARRANQUILLA
2015**

**HERRAMIENTA COMPUTACIONAL PARA UN ANÁLISIS FORMAL DE MODELOS DE
DINÁMICA DE SISTEMAS BAJO EL MÉTODO LOOP EIGENVALUE ELASTICITY
ANALYSIS (LEEA) CON SOPORTE A MODELOS DE GRAN ESCALA**

ESNEYDER RAFAEL GONZÁLEZ PONZÓN

Tesis de Grado para optar el título de Magíster en Ingeniería Industrial

**Ing. René Amaya Mier, Ph.D.
Director**

**UNIVERSIDAD DEL NORTE
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
MAESTRIA EN INGENIERIA INDUSTRIAL
BARRANQUILLA
2015**

Nota de aceptación:

Director

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus agradecimientos:

A RENÉ AMAYA MIER, Director de la Maestría en Ingeniería Industrial, Universidad del Norte, y Director del Proyecto.

A RUBEN YIE PINEDO, Docente Tiempo completo, Dpto de Ingeniería Industrial, Universidad del Norte.

A ALCIDES SANTANDER, Docente Tiempo completo, Dpto de Ingeniería Industrial, Universidad del Norte.

A MIGUEL ROJAS, Docente Tiempo completo, Dpto de Ingeniería Industrial, Universidad del Norte.

A LA UNIVERSIDAD DEL NORTE

A mis padres RENZO GONZÁLEZ y ASTRID PONZÓN

A mi esposa EDUARDA PASTOR. A mis hijos ESNEYDER y ESTEBAN.

A mi DIOS: JEHOVÁ. Único Dios verdadero, creador de todas las cosas.

Alaba a Adonai

CONTENIDO

pág.

| | |
|---|-----|
| LISTA DE FIGURAS | III |
| 1 GENERALIDADES | 1 |
| 1.1 ANTECEDENTES | 1 |
| 1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA | 3 |
| 1.3 OBJETIVOS | 4 |
| 1.3.1 <i>Objetivo General</i> | 4 |
| 1.3.2 <i>Objetivos Específicos</i> | 4 |
| 1.4 ALCANCE, CONSIDERACIONES Y LIMITACIONES DEL PROYECTO | 5 |
| 1.5 METODOLOGÍA | 5 |
| 2 MARCO DE REFERENCIA | 8 |
| 2.1 MARCO TEÓRICO | 8 |
| 2.1.1 <i>Sistemas</i> | 8 |
| 2.1.2 <i>Ecuaciones Diferenciales lineales y no lineales</i> | 8 |
| 2.1.3 <i>Dinámica de Sistemas</i> | 8 |
| 2.1.4 <i>Caracterización de sistemas lineales y no lineales</i> | 11 |
| 2.1.5 <i>Los Eigenvalores (Eigenvalues) y la ecuación característica</i> | 12 |
| 2.2 ESTADO DEL ARTE | 13 |
| 2.2.1 <i>Análisis de dominancia de bucles</i> | 13 |
| 2.2.2 <i>Diferentes aproximaciones para analizar la relación entre la estructura del modelo y el comportamiento observado</i> | 14 |
| 3 APLICACIÓN DEL LOOP EIGENVALUE ELASTICITY ANALYSIS (LEE) | 21 |
| 3.1 ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA DEL MODELO USANDO TEORÍA DE GRAFOS | 21 |
| 3.1.1 <i>Representación gráfica de la estructura del sistema</i> | 21 |
| 3.1.2 <i>Particiones estructurales</i> | 22 |
| 3.1.3 <i>Estructura de las particiones de ciclo</i> | 23 |
| 3.2 ELASTICIDAD DE LOS BUCLES | 25 |
| 3.2.1 <i>Sensibilidad de los valores propios</i> | 25 |
| 3.2.2 <i>Elasticidad de los valores propios con respecto a los enlaces compactos en la matriz de ganancia</i> | 26 |
| 3.2.3 <i>Elasticidad de los valores propios con respecto a los enlaces causales</i> | 26 |
| 3.3 PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR EL ANÁLISIS DE LA DOMINANCIA DE BUCLES DE REALIMENTACIÓN | 27 |
| 3.4 DERIVADA PARCIAL NUMÉRICA | 29 |
| 4 VALIDACIÓN DE LA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL | 30 |
| 4.1 PREDATOR-PREY (DEPREDADOR-PRESA) | 30 |
| 4.1.1 <i>Validación de la aplicación de los 10 pasos de la metodología</i> | 30 |
| 4.1.2 <i>Validación estadística, muestras pareadas</i> | 37 |
| 4.1.3 <i>Validación estadística, Desigualdad de Theil-Sterman</i> | 38 |

| | | |
|-------|--|----|
| 4.2 | YEAST POPULATION (POBLACIÓN DE LEVADURAS) | 38 |
| 4.2.1 | <i>Validación de la aplicación de los 10 pasos de la metodología:</i> | 39 |
| 4.2.2 | <i>Validación estadística, muestras pareadas</i> | 45 |
| 4.2.3 | <i>Validación estadística, desigualdad Theil-Sterman</i> | 46 |
| 4.3 | ECONOMIC LONG WAVE (LONGITUD DE ONDA ECONÓMICA)..... | 47 |
| 4.3.1 | <i>Validación de la aplicación de los 10 pasos de la metodología:</i> | 47 |
| 5 | COMPARACIÓN ENTRE EL LEEA Y DISEÑO DE EXPERIMENTOS: CASO DE ESTUDIO MODELO DE CADENA DE SUMINISTRO | 61 |
| 5.1 | ANÁLISIS PARA IDENTIFICAR LAS VARIABLES QUE IMPACTAN A LA AMPLIFICACIÓN DE DEMANDA DE LA CADENA DE SUMINISTRO. | 61 |
| 5.2 | ANÁLISIS PARA IDENTIFICAR LAS VARIABLES QUE IMPACTAN A LA UTILIDAD DEL SISTEMA DE SUMINISTRO..... | 77 |
| 5.3 | COMPARACIÓN DEL LEEA CON LA TÉCNICA DE DISEÑO DE EXPERIMENTOS | 82 |
| 5.3.1 | <i>Comparación cualitativa</i> | 82 |
| 5.3.2 | <i>Comparación cuantitativa</i> | 85 |
| | CONCLUSIONES Y FUTUROS TRABAJOS | 89 |
| | GLOSARIO | 92 |
| | BIBLIOGRAFÍA | 93 |
| | APENDICE..... | 98 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Diagrama de Flujo para el desarrollo del LEEA | 1 |
| Figura 2. Ciclo de vida del software. Fuente: (Sommerville, 2005)..... | 7 |
| Figura 3. Vista esquemática de la aproximación por el análisis del eigenvalue y el eigenvector | 19 |
| Figura 4. Representación gráfica de la estructura del sistema | 22 |
| Figura 5. Matrices de longitud y distancia de una partición de ciclo | 24 |
| Figura 6. Diagrama de existencias y flujos para el modelo Depredador-Presa | 30 |
| Figura 7. Comportamiento de la variable de interés, Prey..... | 34 |
| Figura 8. Valor propio complejo en el modelo Predator-Prey..... | 34 |
| Figura 9. Elasticidad General de los bucles, modelo Predator-Prey..... | 37 |
| Figura 10. Comportamiento de las series Loop1, histórico y simulado | 38 |
| Figura 11. Diagrama de flujos y existencias para el modelo Yeast-Population | 39 |
| Figura 12. Comportamiento de la variable de interés, Cells..... | 42 |
| Figura 13. Contribuciones de los modos de comportamiento al comportamiento de Cells | 43 |
| Figura 14. Valores propios en el Modelo Yeast Population | 43 |
| Figura 15. Elasticidad General de los bucles en el modelo Yeast Population | 45 |
| Figura 16. Diagrama de flujos y existencias para el modelo Economic Long Wave | 47 |
| Figura 17. Comportamiento de la variable de interés, Capital | 57 |
| Figura 18. Contribuciones de los modos de comportamiento al comportamiento de Capital .. | 57 |
| Figura 19. Modos de comportamientos en el modelo Economic Long Wave..... | 58 |
| Figura 20. Elasticidad General de los bucles en el modelo Economic Long Wave | 60 |
| Figura 21. Simulación de la variable Materials Inventory..... | 72 |
| Figura 22. Modos de comportamiento a) Valores propios reales 1-4. b) Valores propios reales 5-8. c) Valores propios reales 9-12. d) Valores propios reales 13-16. e) Valores propios Imaginarios 6-11. f) Valores propios Imaginarios 12-15. | 73 |
| Figura 23. Elasticidad general de los bucles 1-36, Partición 1..... | 74 |
| Figura 24. Elasticidad general del bucle 1 en la partición 2. | 76 |
| Figura 25. Elasticidad general de los bucles 1-36, Partición 1 | 77 |
| Figura 26. Elasticidad general del bucle 1. Partición 1 | 79 |
| Figura 27. Elasticidad general de los bucles 1-36, Partición 1 | 80 |
| Figura 28. Elasticidad del único bucle en la partición 2..... | 81 |
| Figura 29. Comportamiento de Real Profit bajo la optimización de la demanda y los costos. (Soto, 2010) | 86 |

1 GENERALIDADES

1.1 Antecedentes

El presente trabajo nace por la necesidad de dar continuidad y rediseñar una herramienta de software para aplicar de manera automatizada la metodología LEEA (LOOP EIGENVALUE ELASTICITY ANALYSIS). Existen muchos investigadores interesados en la aplicación de métodos formales matemáticos para analizar modelos de dinámica de sistemas. A continuación se resumen las herramientas de software desarrolladas en el ámbito de la dinámica de sistemas enfocadas en la aplicación del LEEA:

- Tool set for Loop EigenValue Elasticity Analysis: Desarrollada por el Dr. Rogelio Oliva. Esta utilidad toma un modelo diseñado en Vensim lo convierte a formato Mathematica® (esta parte es basada en la Web), luego el usuario abre el archivo, procesa la información junto con otro archivo base de Mathematica que descarga de la página y finalmente se utiliza un template de excel para la revisión de los resultados.

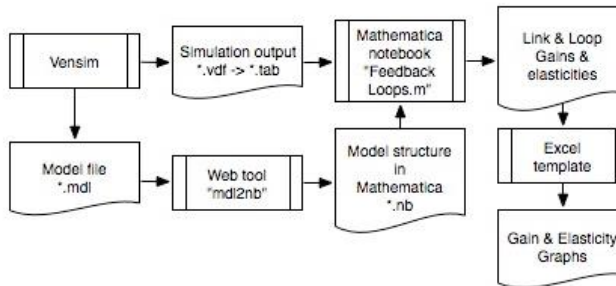


Figura 1. Diagrama de Flujo para el desarrollo del LEEA

Limitaciones

- Los caracteres especiales en nombres de variables no son permitidos, por ejemplo: nombres que en Vensim requieren dobles comillas no son soportados.
- Las funciones especiales (por ejemplo., $\max(x)$, $\min(x)$, $\exp(x)$, $\log(x)$) no son soportadas; deben reemplazarse manualmente con notación de Mathematica®
- Las funciones dinámicas (por ejemplo: SMOOTH, DELAY) no son soportadas; deben reemplazarse por formulaciones explícitas de las Integrales correspondientes.
- Las sentencias IF THEN ELSE no son soportadas.
- Las funciones de tabla son reconocidas si siguen el formato usado por la representación gráfica en Vensim.
- Los macros no son soportados

- Los Arrays no son soportados.

Aunque esta herramienta es automatizada, de acuerdo a las limitaciones mencionadas, el usuario debe intervenir manualmente el modelo para realizar varios cambios. Además algunos modelos no pueden analizarse debido a que no son soportadas algunas funciones.

- **Guide for the Implementation of the EEA:** Desarrollada por el Dr. Burak Güneralp. Burak presenta una metodología basada en 10 pasos. El usuario debe derivar el modelo, obtener las ganancias de los pathways, armar matrices, etc.

Limitaciones y Dificultades:

- Si bien es posible aplicar la metodología a cualquier modelo, la herramienta no es totalmente automatizada. El usuario debe invertir mucho tiempo en la configuración de las entradas correspondientes.
- La herramienta es software de escritorio y está configurada para tres modelos específicos. El usuario debe tomarlos como guía para configurar todos los archivos de entrada necesarios.
- Debido a las entradas de la herramienta es necesario que el usuario tenga mucho conocimiento en áreas matemáticas como las derivadas parciales, y manejo de herramientas de programación como C y Matlab.

La guía de implementación de la herramienta es muy buena pero no es totalmente automatizada, requiere mucha intervención del usuario.

- **ASAUL:** Esta herramienta fue desarrollada por el Dr. Ruben Yie, Docente de la Universidad del Norte. La aplicación está basada en la metodología de 10 pasos de Burak Güneralp. A diferencia de Güneralp se utiliza la derivada numérica aproximada para automatizar el proceso. La aplicación es uno de los mayores avances en la implementación automatizada del LEEA. Es la implementación que al momento requiere menos intervención del usuario.

Limitaciones y Dificultades:

- La herramienta es software de Escritorio, luego es necesario que el usuario realice configuraciones particulares en un equipo para poder correr la aplicación. No puede ser accedida desde la Web.
- La aplicación no soporta el ingreso de información por VDF a una variable.
- La aplicación no es apta para modelos de gran escala debido al tiempo de procesamiento y errores sorpresivos en la ejecución.

La aplicación desarrollada sigue la línea de Burak Güneralp y Ruben Yie; está basada en la Web y se configuró para que no haya intervención manual.

1.2 Formulación del problema

El problema de investigación se fundamenta en la carencia de un software, a disposición de la comunidad científica, que permita implementar un análisis formal a un modelo de dinámica de sistemas a través del método LEEA, dispensando la laboriosa intervención manual que el método requiere. El desarrollo de esta investigación busca cubrir la anterior necesidad al plantear como propuesta la implementación del LEEA en un ambiente Web, y eliminar los pasos intermedios de intervención manual para cálculos de entrada al algoritmo. Por otro lado la investigación se enfoca en determinar cuál de los métodos de análisis de sensibilidad de modelos dinámicos es el mejor a partir del análisis de resultados del LEEA frente a los demás.

Este problema se encuentra enmarcado en el área de dinámica de sistemas, que es una metodología para estudiar y administrar sistemas complejos de realimentación. La dinámica de sistemas estudia cómo ciertas cantidades cambian en función de otra variable que suele ser el tiempo.

Específicamente estamos interesados en el comportamiento de un modelo a gran escala, que equivale a la evolución a lo largo del tiempo de las magnitudes que se consideran relevantes para caracterizar los objetos considerados. Para realizar el análisis del comportamiento del modelo hemos seleccionado el método LEEA por sus siglas en inglés (Loop eigenvalue elasticity analysis), que es un método de análisis formal de modelos basado en la interpretación de valores y vectores propios.

La investigación busca responder la siguiente pregunta: ¿Cuáles son las especificaciones de desarrollo de una herramienta computacional para que de forma automatizada asista el análisis de modelos dinámicos de gran escala bajo el método LEEA y que pueda ser accedida desde una ambiente web?

Esta pregunta requiere 2 consideraciones. Primero, enumerar las características de diseño de la herramienta, incluyendo las especificaciones de lenguajes de programación y plugin's para la integración completa (Lenguaje de programación web y software de escritorio) y segundo, la proposición de nuevos algoritmos para dar respuesta a la falta de automatización, cubriendo en primera instancia las funciones discontinuas del modelo, luego las funciones dinámicas, las sentencias tipo IF THEN ELSE, los arreglos, las macros y finalmente las funciones de tablas. De esta manera estaría automatizado el método LEEA con soporte a modelos más complejos. Es preciso notar que el software de modelado que usaremos es VENSIM, y no se dará soporte para otros tipos de archivos generados por software de modelado como DYNAMO, ITHINK, POWERSIM, etc.

El aporte de la investigación es por tanto la versión mejorada de la herramienta computacional que se construirá, debido a que esta será capaz de tomar un modelo de dinámica de sistemas a gran escala con características complejas para realizar un análisis formal de este. En adición, tal herramienta se dispondrá para su uso público a través del Internet.

La brecha existente en las implementaciones actuales del método está en la falta de integración total entre el lenguaje del modelo y el lenguaje matemático para realizar los diferentes cálculos, subsanada esta brecha el aporte a la comunidad científica sería grande, porque ya no sería necesaria una manipulación directa al modelo (como agregar variables temporales, derivadas ó cambio de notaciones), ni pasos intermedios para generar archivos por diferentes software.

Por otro lado existe una justificación más escalada derivada de la implementación de la herramienta computacional y está en el uso de esta para la toma de decisiones en cadenas de suministros, respondiendo de acuerdo a las variables que tienen un mayor impacto y a la dominancia de modos de comportamiento en un determinado momento.

Se plantea adicionalmente como contribución el discernimiento del potencial del método de análisis LEEA frente a otros métodos alternativos como el SS-Opt (Amaya, 2011; Soto, 2010).

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Re-diseñar, desarrollar e implementar una herramienta computacional que permita realizar un análisis formal a un modelo de Dinámica de Sistemas a través del método LEEA y comparar los resultados obtenidos con un método basado en diseño de experimentos (SS-Opt) para definir relaciones, ventajas y desventajas en ambos métodos.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Definir y documentar los Pseudo-Códigos que se usarán en la implementación del LEEA.
- Construir la herramienta computacional en ambiente Web y con grado de usabilidad apropiado para el análisis experto de modelos de dinámica de sistemas.
- Validar la herramienta computacional como sistema de información (Captura de datos, Manejo de excepciones, exportación de archivos, etc.)
- Realizar el análisis formal a modelos de dinámica de sistemas y validar los resultados con los dados en la literatura.

- Comparar los resultados del LEEA con los arrojados por un método basado en diseño de experimentos para definir oportunidades, relaciones, ventajas y desventajas en ambos métodos.

1.4 Alcance, consideraciones y limitaciones del proyecto

- En este proyecto se ha desarrollado una herramienta computacional que toma un modelo de Dinámica de sistemas diseñado en el software Vensim, a este modelo se aplica la metodología LEEA. Es importante que el modelo esté en Formato Vensim, no se acepta otra formato.
- Es importante que el analista tenga licencia de Vensim DSS para publicar los modelos, puesto que por restricciones de la compañía Ventana Systems Inc. No es posible publicar modelos vía código.
- Las instrucciones tipo: GET DATA XLS deben ser reemplazadas por GET DATA VDF. Es posible utilizar vensim para obtener datos XLS y exportarlos a formatos VDF, este proceso debe ser realizado por el usuario.
- El modelo a cargar en la herramienta debe estar validado y no debe arrojar errores en la simulación.
- La herramienta entrega gráficos y series de tiempo para que el usuario realice los análisis respectivos.
- El análisis que se puede hacer a través de la herramienta es univariado, es decir se puede seleccionar una variable de interés y ver como diferentes variables la impactan.

1.5 Metodología

En esta investigación partiremos de un modelo de dinámica de sistemas que ha sido previamente validado, haremos el análisis formal del modelo a través de la herramienta computacional desarrollada y compararemos los resultados para hacer las validaciones de la misma. Antes del desarrollo del software se hará un estudio del Estado del Arte en temas de implementación de herramientas para análisis formal de modelos de dinámica de sistemas, se transcribirán los códigos correspondientes a los pseudo-códigos dados en la literatura, luego se analizarán las falencias, limitaciones o restricciones y se propondrán algoritmos para eliminarlas en lo posible.

La comparación de resultados se hará a partir del análisis de las gráficas arrojadas y de las series de tiempos generadas tanto por la herramienta a desarrollar como por las dadas en la literatura. Dicho análisis estará basado en pruebas estadísticas y técnicas definidas en el dominio de Series de tiempo.

Los diferentes análisis y transcripciones de pseudo-códigos estarán limitados al método LEEA. Las comparaciones estarán dirigidas en doble vía:

- Comparar resultados con un método basado en diseño de experimentos.
- Comparar resultados con los datos en la literatura por otras implementaciones del método LEEA sin los cambios propuestos

Para el desarrollo de la herramienta computacional se seleccionó el modelo de proceso de software en cascada (Sommerville, 2005) que considera las actividades fundamentales del proceso de especificación, desarrollo, validación y evolución, dichas actividades se muestran como fases independientes del proceso. El modelo en cascada considera 5 fases (ver Figura 1) o etapas que se transforman en actividades fundamentales de desarrollo:

- Análisis y definición de requerimientos: Se definen los servicios, restricciones y metas del sistema a partir de las consultas con los usuarios.
- Diseño del sistema y del software: El diseño del sistema divide los requerimientos de software y hardware, se define la arquitectura completa del sistema. El diseño del software describe las abstracciones principales del sistema software y sus relaciones.
- Implementación y prueba de unidades: Se lleva a cabo el diseño del software como un conjunto o unidades de programas. La prueba de unidades implica verificar que cada una cumpla con su especificación.
- Integración y prueba de del sistema: En esta etapa los programas o las unidades individuales de programas se integran y prueban como un sistema completo para asegurar que se cumplan los requerimientos del software. A este punto el software puede ser entregado.
- Funcionamiento y mantenimiento: El sistema se instala y se pone en funcionamiento. El mantenimiento implica corregir errores no descubiertos en las etapas anteriores del ciclo de vida.

Aunque la adopción del modelo de proceso no es una camisa de fuerza muestra el camino base para hacer todos los desarrollos durante el proceso de creación del software. Este modelo se ha seleccionado porque existe claridad de los requerimientos y los objetivos del software a diseñar. El desarrollo del software está basado en una necesidad pertinente, vacíos que no han sido cubierto por otras herramientas computacionales que ya se han desarrollado.

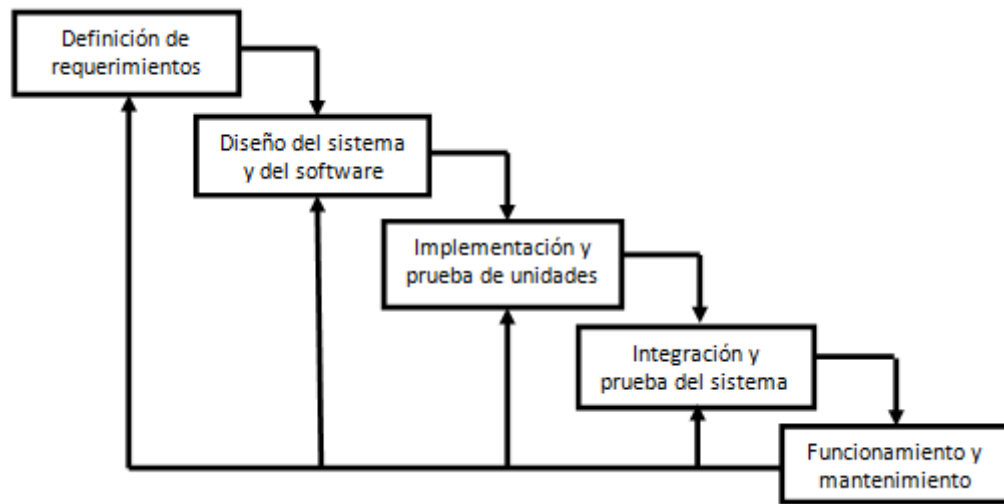


Figura 2. Ciclo de vida del software. Fuente: (Sommerville, 2005)

2 MARCO DE REFERENCIA

2.1 Marco Teórico

2.1.1 Sistemas

Un sistema (Ogata, 2004) es una combinación de componentes que actúan conjuntamente para alcanzar un objetivo específico. Un componente es una unidad particular en su función en un sistema. El concepto de sistema se puede ampliar a fenómenos dinámicos abstractos, tales como los que se encuentran en el transporte, el crecimiento de la población, la economía y la biología. Un sistema se llama dinámico si su salida en el presente depende de una entrada en el pasado; si su salida depende solamente de la entrada en curso, el sistema se conoce como estático. En un sistema dinámico la salida cambia con el tiempo cuando no está en su estado de equilibrio. En un sistema estático la salida permanece constante si la entrada no cambia y cambia solo cuando la entrada cambia.

2.1.2 Ecuaciones Diferenciales lineales y no lineales

Las ecuaciones diferenciales lineales pueden clasificarse en ecuaciones diferenciales lineales, invariantes en el tiempo y ecuaciones lineales variantes en el tiempo.

Una ecuación diferencial lineal invariante en el tiempo es aquella en la cual una variable dependiente y sus derivadas aparecen como combinaciones lineales. Ejemplo:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 5\frac{dx}{dt} + 10x = 0$$

En el caso de una ecuación lineal variante en el tiempo, la variable dependiente y sus derivadas aparecen como combinaciones lineales, pero algunos de los coeficientes de los términos pueden involucrar a la variable independiente. Ejemplo:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + (1 - \cos 2t)x = 0$$

Una ecuación diferencial se denomina no lineal cuando no es lineal. Ejemplo:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{dx}{dt} + x + x^3 = \sin wt$$

2.1.3 Dinámica de Sistemas

La dinámica de sistemas (DS) es definida por la System Dynamics Society (www.systemdynamics.org) como una metodología para estudiar y administrar sistemas complejos de realimentación, tales como

los que se encuentran en las empresas y los sistemas sociales. La DS es una herramienta que ayuda a direccionar los problemas complejos que involucran retrasos, realimentación y no linealidades.

Esta metodología es basada en los sistemas pensantes, pero a diferencia enfatiza el uso de herramientas de simulación por computador.

2.1.3.1 Atributos y diagrama de influencias

En el intento de describir un sistema S , un observador le asocia un conjunto de atributos o características $\{X_i\}$. En general se puede decir que un atributo X_i representa una cualidad perceptible de S , que da lugar a una unidad conceptual de representación. El especialista en el sistema S posee formas de conocimiento sobre cómo se manifiestan los vínculos entre las partes del sistema; respecto a cómo variaciones de determinado atributo $\{X_k\}$ afectan a las manifestaciones de otro $\{X_j\}$; es decir, sobre cómo se producen interacciones al interior del sistema (Aracil & Gordillo, 1997). La existencia de alguna forma de influencia entre atributos se puede representar formalmente mediante enunciados de la forma:

$$X_k \rightarrow X_j$$

que se leen 'el atributo X_k influye sobre el atributo X_j ' y que reciben la denominación de relaciones de influencia entre atributos.

Entre los elementos que constituyen el sistema se establece un bosquejo de aquellos que están relacionados entre sí, lo cual se hace por medio de un diagrama en el cual los nombres de los distintos elementos están unidos entre sí por flechas. A este diagrama se le conoce como diagrama de influencias o causal (Aracil & Gordillo, 1997).

2.1.3.2 Bucles de Realimentación

Mucho del arte de modelar sistemas dinámicos está en descubrir y representar el proceso de realimentación, que, junto con las estructuras de flujo y stock, los tiempos de retrasos, y las no linealidades, determinan las dinámicas del sistema (Sterman, 2000). La mayoría de comportamientos complejos usualmente surgen de las interacciones (realimentaciones) entre los componentes del sistema, y no de la complejidad de los componentes mismos.

Todas las dinámicas surgen de la interacción de solo dos tipos de bucles de realimentación, los positivos (ó auto refuerzo) y los negativos (ó auto correctivo).

Los bucles positivos tienden a reforzar o amplificar lo que está pasando en el sistema, los bucles negativos contrarrestan y se oponen al cambio.

2.1.3.3 Variables de estado

Las variables de estado o de niveles componen el conjunto de variables cuya evolución es significativa para el estudio del sistema. Los estados representan magnitudes que acumulan los resultados de acciones tomadas en el pasado. El término "nivel" viene por la asimilación del nivel alcanzado (acumulación) por un líquido en un depósito. Una característica común a todos los estados es que cambian lentamente en respuesta a las variaciones de otras variables. En los diagramas de Forrester los niveles se representan por medio de rectángulos (Aracil & Gordillo, 1997).

A cada estado X se le puede asociar dos flujos. Un flujo de entrada F_e y un flujo de salida F_s . La ecuación que representa la evolución del estado X es:

$$X(t) = X(0) + \int_0^T (F_e - F_s) dt$$

Que es lo mismo que

$$\frac{dX}{dt} = F_e - F_s$$

2.1.3.4 Variables de flujo

Las variables de flujo determinan las variaciones en los estados del sistema. Las variables de flujo caracterizan las acciones que se toman en el sistema, y que, se van acumulando en los correspondientes estados. Las variables de flujo se pueden asociar a válvulas que regulen los caudales que alimentan determinados depósitos, cuyos niveles materializan el estado del sistema. A las variables de flujo se asocian ecuaciones que definen el comportamiento del sistema. La información proveniente de los estados o de las variables auxiliares del sistema alimentan al flujo, y la salida de este, alimenta a un estado (Aracil & Gordillo, 1997).

A todo estado se asocia una variable de flujo, incluso varias. Pero dos variables de flujo no pueden conectarse entre sí. Además una variable de flujo vendrá siempre medida por la unidad del estado al que alimenta, partida por el tiempo.

2.1.3.5 Variables auxiliares

Las variables auxiliares representan pasos o etapas en los que se descompone el cálculo de una variable de flujo a partir de los valores tomados por los estados. Las variables auxiliares unen los canales de información entre variables de estado y de flujo. Las variables auxiliares se diferencian de las de flujo en la medida en que tengan un significado real por sí mismas, o sencillamente porque hacen más fácil la comprensión de las ecuaciones de flujo (Aracil & Gordillo, 1997).

Las variables auxiliares se pueden emplear para representar las no-linealidades que aparecen en el sistema.

2.1.4 Caracterización de sistemas lineales y no lineales

Un modelo de dinámica de sistemas puede ser representado matemáticamente como un conjunto de ecuaciones diferenciales ordinarias

$$\frac{dx(t)}{dt} \equiv \dot{x}(t) = f(x(t), u(t)), \quad (1)$$

donde $x(t)$ es un vector columna de n variables de estado (niveles) $(x_1(t), \dots, x_n(t))$, $u(t)$ es un vector columna de p variables exógenas o variables de control $(u_1(t), \dots, u_p(t))$, $f(t)$ es una función vectorial correspondiente, y t es el tiempo de simulación (Kampmann C.E. & Oliva R, 2008).

Si f es una función no lineal en sus argumentos, el sistema será no lineal. Por el contrario si f es una función lineal, el sistema será lineal. Dada la estructura del modelo (1), conociendo las condiciones iniciales $x(0)$ y las rutas de las variables de entrada $u(t)$, el comportamiento del modelo queda totalmente determinado.

Es posible aproximar el modelo no lineal (1) con una versión linealizada, usando la expansión de Taylor de primer orden alrededor de algún punto de operación $x(t_0) = x_0$, $u(t_0) = u_0$, esto es

$$\dot{x}(t) \approx f(x_0, u_0) + \frac{\partial f}{\partial x}(x(t) - x_0) + \frac{\partial f}{\partial u}(u(t) - u_0), \quad (2)$$

O, por redefinición de las variables $x \rightarrow x - x_0 - f(x_0, u_0)(t - t_0)$ y $u \rightarrow u - u_0$,

$$\dot{x}(t) \approx Ax(t) + Bu(t), \quad (3)$$

donde A es una matriz de $n \times n$ de las derivadas parciales $\frac{\partial f_i}{\partial x_j}$ y B es una matriz de $n \times p$ de las derivadas parciales $\frac{\partial f_i}{\partial u_j}$, tomando como punto de operación $f(x_0, y_0)$.

La teoría moderna de control (e.g. Chen, 1970; Luenberger, 1979) o teoría de sistemas lineales se ocupa de las propiedades dinámicas del sistema como una función directa de las matrices del sistema A y B . Un elemento clave en esta teoría es la noción de los valores propios del sistema, esto es los valores

propios de la matriz A . Si se restringen las dinámicas del sistema a las variables endógenas (esto es, establecer $u=0$), es posible escribir la solución a (3) como

$$x_i(t) = c_{i,1} \exp(\lambda_1 t) + c_{i,2} \exp(\lambda_2 t) + \dots + c_{i,n} \exp(\lambda_n t), i = 1, \dots, n. \quad (4)$$

donde $\lambda_1, \dots, \lambda_n$ son los n valores propios de la matriz A y $c_{i,j}$ son constantes que dependen de los vectores propios y la condición inicial del sistema.

2.1.5 Los Eigenvalores (Eigenvalues) y la ecuación característica

Los Eigenvalores¹ (valores propios) son un conjunto especial de escalares (números reales o complejos) asociados con un sistema lineal de ecuaciones. Ellos también son conocidos como raíces características o valores propios, o raíces latentes (Kreuzig, E., 1993) (Weisstein, E. W., 1999).

La ecuación característica (Polinomial) es la ecuación que se resuelve para encontrar los valores propios de la matriz. De la ecuación (3), la matriz A es una matriz de un sistema de ecuaciones lineales. Si hay un vector $r \neq 0$ tal que;

$$Ar = \lambda r \quad (5)$$

Donde λ es un valor escalar, luego λ es uno de los valores propios y r es su correspondiente vector propio derecho (llamado derecho porque el vector es multiplicado al lado derecho de la matriz A , y pudo haber sido izquierdo si la multiplicación hubiera sido al lado izquierdo de la matriz A) (Abdel-Gawad et al., 2005). Para computar los valores propios y sus correspondientes vectores propios derechos, la ecuación (5) puede reducirse a:

$$(A - \lambda I)r = 0$$

Según la regla de Cramer, un sistema lineal de ecuaciones tiene soluciones no triviales solo si el determinante es igual a cero, luego obtenemos la siguiente ecuación característica (Kreuzig, E., 1993):

$$|A - \lambda I| = 0 \quad (6)$$

Esta ecuación tiene tantas soluciones como el número de filas o columnas de la matriz A . El conjunto de todas las soluciones de la ecuación (6) es el conjunto de los eigenvalores. Al tomar cada valor propio y sustituirlo en la ecuación (5) se obtiene el correspondiente vector propio.

¹ En Alemán esta es llamado Eigenwert, "Eigen" es una palabra alemán que quiere decir Propio, mientras que "wert" significa Raíz (Kreuzig, E., 1993)

2.2 Estado del arte

2.2.1 Análisis de dominancia de bucles

Analizar la relación estructura-comportamiento de un modelo permite conocer las partes que son responsables del modo de comportamiento y en qué medida. El concepto clave en estas relaciones de estructura-comportamiento es denominado "bucle dominante". El comportamiento del modelo evoluciona como una consecuencia de las interacciones entre varios bucles de realimentación del modelo. A la estructura más influyente en determinar algún segmento de las dinámicas de un sistema se le conoce como bucle dominante y al análisis que tiene como objetivo descubrir estos bucles es llamado "Análisis de dominancia de bucles" (Güneralp B, 2005).

El análisis de la dominancia de bucles ha atraído la atención de un puñado de investigadores de la dinámica de sistemas. Existen acercamientos al sujeto en diferentes puntos de vistas. Por un lado están los métodos orientados a la estructura, como el análisis de la elasticidad de los valores propios (EEA, eigenvalue elasticity analysis) y métrica de participación por rutas (PPM, de pathway participation metrics). Por otro lado están las orientadas al comportamiento, como es la aproximación de Ford (1999).

Forrester (1982) es el primero en exponer los cimientos del análisis de elasticidad de los valores propios en el campo de la dinámica de sistemas. Los valores propios pueden ser considerados como la superposición de diferentes modos de comportamientos que dan aumento al comportamiento observado en el sistema. Luego, el EEA, al formar una conexión entre la estructura del modelo y el comportamiento, provee un medio para describir la estructura dominante en el modelo.

La más reciente contribución al análisis de dominancia de bucles viene de Saleh (2002). Saleh, además de introducir una nueva medida, llamada "*índice de patrón de comportamiento*" para cuantificar el patrón de comportamiento de una variable de estado, refinó muchos aspectos del análisis de valores propios, incluyendo su aplicación a modelos no lineales.

Un modelo en su comienzo quizás contenga un número de subestructuras redundantes. El modo de comportamiento dominante del sistema bajo estudio podría ser capturado sin estas subestructuras. Además el análisis de los valores propios puede también ser usado para simplificar modelos lineales reteniendo modos de comportamientos seleccionados (Eberlein, 1984).

2.2.2 Diferentes aproximaciones para analizar la relación entre la estructura del modelo y el comportamiento observado

En los últimos años ha estado un creciente interés en los investigadores de la dinámica de sistemas en el desarrollo de herramientas que permitan realizar un análisis formal a un modelo. El propósito es ayudar a los modeladores a entender la relación entre el comportamiento observado del modelo y los elementos de la estructura del modelo que influyen en este (Kampmann C.E. & Oliva R, 2008).

Existen diferentes aproximaciones que llevan al problema de la relación estructura-comportamiento. Las cuatro principales aproximaciones se conocen como: la aproximación tradicional, métrica de participación por rutas (PPM, de pathway participation metrics), análisis de elasticidad de valores propios, y análisis de vectores propios (eigenvector analysis).

2.2.2.1 Aproximaciones por la teoría de control tradicional

El primer método lleva a usar los conceptos de la teoría de control clásica (Ogata, 1990) en sistemas muy simples con pocas variables de estado. El punto de partida está en los bucles de realimentación positivos y negativos, de primer y segundo orden, encontrados en cualquier tratamiento introductorio de la dinámica de sistemas. La ventaja de la aproximación es su simplicidad. Aunque esta aproximación sirve como una guía a la intuición, presenta muchas deficiencias debido a que se aplica estrictamente solo a sistemas simples.

Graham (1977) intentó manipular los sistemas de alto orden agregando varios bucles de realimentación, pero el paso a modelos de gran escala fue imposible debido a las limitaciones inherentes del método.

El objetivo de Graham fue derivar un conjunto de "Principios" basado en las estructuras simples de realimentación como una guía intuitiva o metáfora para entender el comportamiento. Así, el objetivo es crear un entendimiento intuitivo de los resultados matemáticos de la teoría de control en vez de desarrollar una nueva teoría formal para explicar el comportamiento.

Para analizar el comportamiento de los bucles de realimentación positivos, Graham sugiere calcular el *open-loop steady-state gain*, una medida de la amplificación alrededor del bucle. Una ganancia mayor que la unidad resultará en un crecimiento exponencial, mientras que las ganancias menores que 1 dará un ajuste exponencial.

La aproximación demuestra perfectamente el punto de vista endógeno de que el comportamiento (las oscilaciones) es generado internamente por el sistema. Sin embargo el método no busca producir alguna nueva idea o conocimiento como herramienta de análisis de sistemas de gran escala.

Finalmente, las aproximaciones clásicas sirven en su mayoría como metáforas intuitivas para guiar al analista en vez de ser una herramienta de análisis completa.

2.2.2.2 Métrica de participación por rutas (Pathway Participation Metrics, PPM)

El método Pathway Participation Metrics (Mojtahedzadeh, 1996; Mojtahedzadeh *et al.*, 2004) fue propuesto por Mojtahedzadeh como una herramienta matemática para ayudar a soportar la intuición del modelador a fin de desentrañar las relaciones entre la estructura y el comportamiento del sistema. El bloque básico de construcción de comportamiento del PPM es una fase única de comportamiento para una variable. Una fase única de comportamiento para una variable seleccionada es una porción de la simulación en el tiempo donde las variables seleccionadas mantienen la misma pendiente y curvatura. Hay siete patrones de comportamiento que pueden existir dentro de una fase única: (1) refuerzo de crecimiento, (2) crecimiento lineal, (3) equilibrio de crecimiento, (4) refuerzo de declive, (5) descenso lineal y, (6) Equilibrio.

PPM es caracterizado por ser la única aproximación cuyas características están implementadas en una pieza experimental de software, Digest (Mojtahedzadeh *et al.*, 2004).

La aproximación PPM empieza cuando el analista modelador selecciona una variable de interés X . Luego, PPM detecta que estructura es más influyente en determinar el comportamiento de la variable seleccionada X . El software Digest divide la ruta del tiempo para X en patrones discretos que representan los siete patrones de comportamiento sobre el tiempo. Cuando la trayectoria del tiempo para la variable seleccionada ha sido descompuesta en patrones separados, PPM se enfoca en responder la pregunta "Cuál es la estructura más influyente en explicar un patrón de comportamiento sobre el tiempo para la variable seleccionada?".

El PPM calcula cuanto del flujo neto $\left(\dot{X} \text{ ó } \frac{dX}{dt}\right)$ podría cambiar dado un pequeño cambio en la variable de estado bajo consideración $\left(\frac{d\dot{X}}{dX}\right)$; esto es llamado *Total Pathway Participation Metrics* (métrica de participación total por rutas). Puesto que $\frac{d\dot{X}}{dX}$ puede ser transformado en $\frac{d\dot{X}}{dt}$ dividido por $\frac{dX}{dt}$, Total Pathway Participation Metrics contiene información tanto de la pendiente como de la curvatura de la variable de interés y esto es apropiado para analizar el comportamiento. Esta medida de la métrica de participación total para la variable de estado X es luego particionada entre los *pathways* que llegan al

flujo neto. El *pathway* más influyente es definido como aquel cuya participación tiene mayor magnitud y además tiene el mismo signo que el cambio total en el flujo neto \dot{X} cuando este es perturbado por un cambio infinitesimal en la variable de estado en la cola del *pathway*.

De los estudios realizados hasta ahora, es claro que la principal fortaleza del método es el no tener que calcular eigenvalores que es una tarea numéricamente demandante, y seguidamente la intuitiva y directa conexión que este crea entre el comportamiento observado y los elementos estructurales influyentes.

Sin embargo, existen algunos problemas relevantes que requieren ser clarificados (Kampmann C.E. & Oliva R, 2008). Primero, el método no es adecuado para sistemas oscilatorios. El problema se puede identificar cuando uno considera cómo la medida PPM varía en el curso de una salida sinusoidal a partir de un sistema lineal: El signo del PPM se desplazará dos veces durante cada ciclo, indicando que el comportamiento es alternadamente dominado por bucles positivos y negativos, incluso aunque la fuerza relativa de los bucles del sistema, y de ahí la dominancia del bucle, permanezcan constantes todo el tiempo. Richardson (1984/1995) ya había indicado este problema al notar que la medida solo considera los elementos de la diagonal en el sistema matricial (1). Esta es una limitación significativa, dada la importancia y prevalencia de la oscilación en el análisis de sistemas dinámicos.

Una segunda limitación del método es que éste usa una búsqueda en profundidad para el *pathway* único más influyente a una variable. Esta estrategia no captura la situación donde más de una estructura contribuye significativamente al comportamiento del modelo, y pueden omitirse rutas alternativas que podrían llevar al valor de la métrica a incrementarse.

Una tercera limitación es el énfasis en identificar una "única" estructura dominante, cuando en la realidad muchos bucles y *pathways* influyen simultáneamente en el comportamiento de una variable. Al reducir la consideración a una sola estructura dominante se omiten importantes características de la relación estructura-comportamiento.

Finalmente, PPM comparte una debilidad con el método tradicional, y es que considera primordialmente estructuras parciales del sistema y no las propiedades globales de éste.

2.2.2.3 Análisis de elasticidad de valores propios (Eigenvalue elasticity analysis, EEA) y Análisis de elasticidad de valores propios de los bucles (Loop eigenvalue elasticity analysis, LEEA)

El EEA fue introducido primero por Forrester (1982) en una situación en la que se deseaba analizar políticas de estabilización en un modelo macro-económico. Aunque los criterios para estabilización del comportamiento no son nuevos, el EEA es único en su intento por usar estos para adquirir

entendimiento intuitivo cualitativo del sistema. El método usa los valores propios para caracterizar el comportamiento del sistema, ya que el comportamiento de cualquier sistema a cualquier punto en el tiempo puede ser descrito en su totalidad por los valores propios y vectores propios del sistema linealizado alrededor del punto de operación actual.

La importancia de un enlace o parámetro en el modelo para un modo de comportamiento es medido a partir de cuánto el valor propio cambia si ocurre un pequeño cambio en la fuerza del enlace o parámetro (Kampmann, C & Oliva R. 2005).

El EEA usa la teoría de sistemas lineales para descomponer el comportamiento en modos simples, cada uno de los cuales corresponde a un valor propio. Este método se ocupa de los elementos estructurales que afectan significativamente los valores propios del sistema o modos de comportamientos, los valores λ_i en (4). Específicamente, este mide la influencia por la *elasticidad* del valor propio λ con respecto a algún parámetro g en el modelo, definida como $\varepsilon = \left(\frac{\partial \lambda}{\partial g}\right) \left(\frac{g}{\lambda}\right)$, que es el cambio fraccional en el valor propio relativo al cambio fraccional en el parámetro. La ventaja de esta medida fraccional es que es adimensional, esta es independiente de las unidades seleccionadas, incluyendo la unidad de escala del tiempo. Algunas veces, la *medida de influencia* es usada en su lugar, definida como $\mu = \left(\frac{\partial \lambda}{\partial g}\right) g$, que tiene la dimensión [1/tiempo] y por lo tanto depende de la unidad del tiempo seleccionada, pero que es generalmente más fácil para interpretar valores propios complejos y evita problemas con valores propios cuyo valor es cero o cuyos valores son muy pequeños. (Kampmann, 1996; Saleh *et al.*, 2008).

Un avance significativo en el EEA fue dado por Forrester (1983) al introducir la noción de que las elasticidades de cualquier enlace en el modelo (correspondiente a los elementos de la matriz A en el sistema linealizado (3)) pueden ser interpretadas como la suma de las elasticidades de todos los bucles de realimentación que contienen este enlace. Para esta aproximación que incluye las nociones básicas de Forrester y la introducción de ideas posteriores, Kampmann y Oliva R adoptaron el nombre de *loop eigenvalue elasticity analysis* (LEEA) (Kampmann C. E. & Oliva R. 2006; Kampmann C.E. & Oliva R, 2008).

Kampmann (1996) refinó la aproximación al considerar los bucles de realimentación como la unidad estructural de análisis, proporcionó una definición rigurosa del LEEA y también señaló que los bucles de realimentación no son independientes. Dada la posibilidad de tener un número muy grande de bucles en un modelo, solo tiene sentido hablar de las contribuciones individuales de un conjunto limitado de bucles, que Kampmann denominó *independent loop set* (ILS). El probó que un sistema

totalmente conectado con N enlaces y n variables tiene un total de $N-n+1$ bucles independientes y proporcionó un procedimiento para construir este conjunto y calcular las elasticidades del bucle.

Un problema con la aproximación de Kampmann fue señalado por Oliva (2004) y es que la medida de elasticidad depende de la selección del *independent loop set*, que no es único. Oliva (2004) refinó la definición de *independent loop set* introduciendo el *shortest independent loop set* (SILS) junto con un procedimiento para construir este conjunto. El SILS está compuesto totalmente de bucles geodésicos (un bucle geodésico entre dos variables x y y consiste de una ruta más corta de x a y , y una ruta más corta de y a x). Aunque no siempre el SILS es único, la experiencia de algunos autores sugiere que el SILS ayuda a realizar interpretaciones de manera más fácil (Oliva & Mojtahedzadeh, 2004).

El método EEA/LEEA ha sido aplicado en un gran número de contextos (e.g. Gonçalves et al., 2000; Saleh & Davidsen, 2001a, b; Gonçalves, 2003; Abdel-Gawad et al., 2005; Güneralp, 2006; Kampmann & Oliva, 2006; Saleh et al., 2008), pero sigue siendo una herramienta empleada solo por especialistas y utilizada en investigación fundamental, ni siquiera ha sido incorporada en un paquete de software estándar (Kampmann C.E. & Oliva R, 2008).

Podría existir un grado de escepticismo en cuanto al método debido a que es derivado de la teoría de sistemas lineales y es aplicado a modelos no lineales en dinámica de sistemas. Kampmann y Oliva (2006) realizaron un análisis acerca de los tipos de modelos en los que el método podría ser particularmente adecuado. Ellos definieron tres categorías de modelos, basado en el comportamiento que estos exhiben: (1) *linear and quasi-linear models* (modelos lineales y cuasi-lineales), (2) *nonlinear single-transient models* (modelos no lineales solo-transitorios) y (3) *nonlinear periodic models* (modelos no lineales periódicos). La primera categoría de modelos incluye aquellos que presentan oscilaciones, posiblemente combinadas con tendencias de crecimiento, con puntos de equilibrios relativamente estables (e.g. el modelo clásico de dinámica industrial de Forrester, 1961). Kampmann y Oliva concluyeron que el LEEA mostró la mayor promesa y potencial para este tipo de modelos debido a los cimientos analíticos que son sólidos y válidos, y porque el método tiene la habilidad para encontrar bucles con alta elasticidad aún en modelos grandes muy rápidamente sin mucha intervención de parte del analista. En la segunda categoría de modelos, *no lineales solo-transitorios* las no linealidades usualmente juegan un rol esencial en las dinámicas, sin embargo es posible dividir el comportamiento en distintas fases donde ciertos bucles tienden a dominar el comportamiento (e.g. Forrester 1969, 1971; Sterman, 1981). En esta clase de modelos, el LEEA también mostró promesa al medir los cambios en la dominancia estructural por el cambio en las elasticidades; pero este requiere más entradas de parte del analista (e.g. en definir las diferentes fases de transición) y esto no tiene alguna ventaja obvia sobre otros métodos como el PPM. La tercera clase de modelos, los *no lineales*

periódicos son aquellos que exhiben un comportamiento fluctuante en el que las no linealidades juegan un rol esencial, tal como ciclos de límites, comportamientos cuasi-periódicos, modos de bloqueos e interacciones entre modos cíclicos, o caos (e.g. Richardson, 1988). Para estos casos el LEEA es fundamentalmente no adecuado como ayuda para arrojar ideas de comprensión. Kampmann y Oliva (2006) aplicaron el LEEA a un modelo caótico, el modelo de Lorenz (1963). Los resultados mostraron que los valores propios se movieron rápidamente, en sincronía con las variables del sistema. En algunos casos, el LEEA dio ideas acerca de lo que pasaba en el modelo, porque este claramente mostró que el comportamiento era gobernado por dinámicas no lineales de alto orden. Sin embargo, usar los valores propios para explicar los movimientos del sistema requiere que estos permanezcan relativamente constantes mientras las variables del sistema cambian.

2.2.2.4 Análisis de vectores propios (EVA, Eigenvector Analysis) y descomposición dinámica de pesos (DDW, Dynamic Decomposition Weights Analysis)

El último de los métodos ha sido denominado eigenvector-based approach (EVA). EVA (Kampmann C.E. & Oliva R, 2008) intenta mejorar el método EEA/LEEA al considerar qué proporción de un eigenvalue o modo de comportamiento es expresado en una variable particular del sistema.

La lógica del método y la muestra de cómo se complementan el LEEA y el EVA se presenta en la siguiente figura.

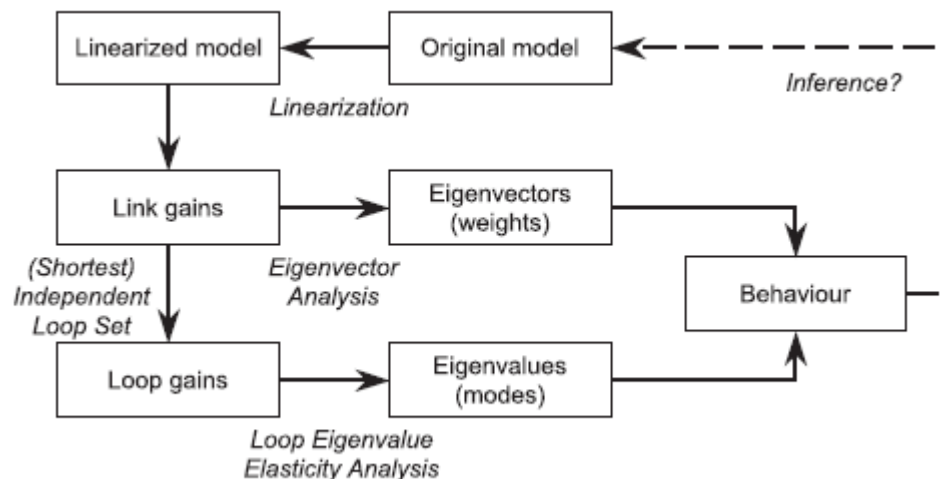


Figura 3. Vista esquemática de la aproximación por el análisis del eigenvalue y el eigenvector

El comportamiento observado de una variable de estado del modelo es luego el resultado combinado de los modos de comportamientos y los pesos para cada modo (de los eigenvectores) en la respectiva

variable de estado. Algunos investigadores han intentado desarrollar métodos EVA. Algunos enfatizan la curvatura (segunda derivada en el tiempo) del comportamiento, similar al punto de inicio del método PPM (Saleh & Davidsen, 2001a,b; Saleh, 2002; Güneralp, 2006). La pendiente o tasa de cambio $\dot{x}(t)$ de una variable x dada en el sistema linealizado puede ser escrito como:

$$\dot{x}(t - t_0) = \omega_1 \exp(\lambda_1(t - t_0)) + \dots + \omega_n \exp(\lambda_n(t - t_0)), \quad (7)$$

donde los pesos ω_i estan asociados a los eigenvectores. Luego, diferenciando con respecto al tiempo, se encuentra que la curvatura al tiempo t_0 es:

$$\ddot{x}(t_0) = \omega_1 \lambda_1 + \dots + \omega_n \lambda_n. \quad (8)$$

Uno podría interpretar (8) como la suma de la contribución de los modos de comportamientos individuales. Güneralp sugiere usar los términos de la parte derecha de (8) como pesos para combinar las elasticidades de los modos de comportamiento individuales ε_i con respecto a algún elemento del sistema en una suma de pesos como una medida de la significancia total del elemento del sistema.

El, además normalizó la medida de elasticidad por la suma de las medidas de elasticidad de otros elementos del sistema creando una medida que varía entre +1 y -1. Según Kampmann & Oliva R (2008) el sentido, consistencia y significancia de la doble normalización debe ser clarificada.

Este método, al hacer énfasis en la curvatura, comparte la debilidad básica que tiene la aproximación PPM al tratar con oscilaciones.

Otros investigadores han apuntado a la descomposición dinámica de pesos (DDW), que se ocupa de lo que pasa con los pesos ω_i 's en (7 y 8) cuando los cambios son hechos a los elementos del sistema. En contraste al LEEA, todos los enlaces del modelo son potencialmente relevantes en DDW (Saleh et al., 2008). Así, el foco está en el peso relativo de los modos de comportamiento para una variable en particular, desde una política de criterio, similar a la de Forrester y el punto de inicio para el análisis EEA (Gonçalves, 2006; Saleh et al., 2006, 2008).

3 APLICACIÓN DEL LOOP EIGENVALUE ELASTICITY ANALYSIS (LEEA)

3.1 Análisis de la estructura del modelo usando Teoría de Grafos

3.1.1 Representación gráfica de la estructura del sistema

La teoría de grafos ha sido usada para explorar las relaciones causales de los modelos de dinámica de sistemas (Burns 1977; Burns and Ulgen 1978; Burns et al. 1979; Dolado & Torrealdea 1988; Kampmann 1996). Oliva (2004) indica que es posible usar la teoría de grafos para ayudar a entender y analizar la complejidad estructural de estos modelos.

Un grafo directo o digrafo G es un par (V, E) , donde $V(G)$ es un conjunto finito de elementos, llamado vértices o nodos, y $E(G)$ es una relación binaria en V : un subconjunto de pares ordenados de elementos de $V(G)$. Los elementos de $E(G)$ son llamados aristas y constituyen el conjunto de aristas de G . La estructura de un modelo de dinámica de sistemas puede ser representada como un digrafo, donde las variables son los vértices y las aristas son las relaciones "es usado en", esto es, hay una arista directa $(u \rightarrow v)$ si u es usada como un argumento en el cálculo de v (Oliva, 2004). Para facilitar los cálculos un digrafo es a menudo representado como una matriz de adyacencia. La correspondiente matriz de adyacencia de un digrafo es una matriz cuadrada A de tamaño $|V|$, donde cada fila (y columna) representa un vértice (los vértices son numerados $1, 2, \dots, |V|$). Las entradas en la matriz están restringidas a los valores cero y uno, donde $a_{uv} = 1$ si y solo si $(u, v) \in E(G)$. Los unos en la fila A_u representan el conjunto sucesor ($\text{Succ}[u]$) para el vértice u , mientras que los unos en la columna A_u representan el conjunto predecesor ($\text{Pred}[u]$) para el vértice u . Las figuras 3(a)-(c) muestran el mapeo de la estructura del modelo en un digrafo y su correspondiente matriz de adyacencia. Otra representación útil de la estructura del modelo es la matriz de accesibilidad (Oliva, 2004). La matriz de accesibilidad representa un digrafo cuyo conjunto de aristas es definido por la relación "es antecedente a" (ver la figura 3(d)) y esta es equivalente al cierre transitivo de A ($R_{ii} = 1; R_{ij} = A_{ij}; R_{ij} \cap R_{jk} \Rightarrow R_{ik}$) (Oliva, 2004). La matriz de accesibilidad es reflexiva, esto es, su diagonal principal está llena de unos. La matriz de accesibilidad puede ser formada fácilmente agregando la matriz de identidad a la matriz de adyacencia ($B = A + I$) y elevando la suma a la k potencia booleana $B^{k-1} \neq B^k = B^{k+1} = R$ (Warfield, 1989).

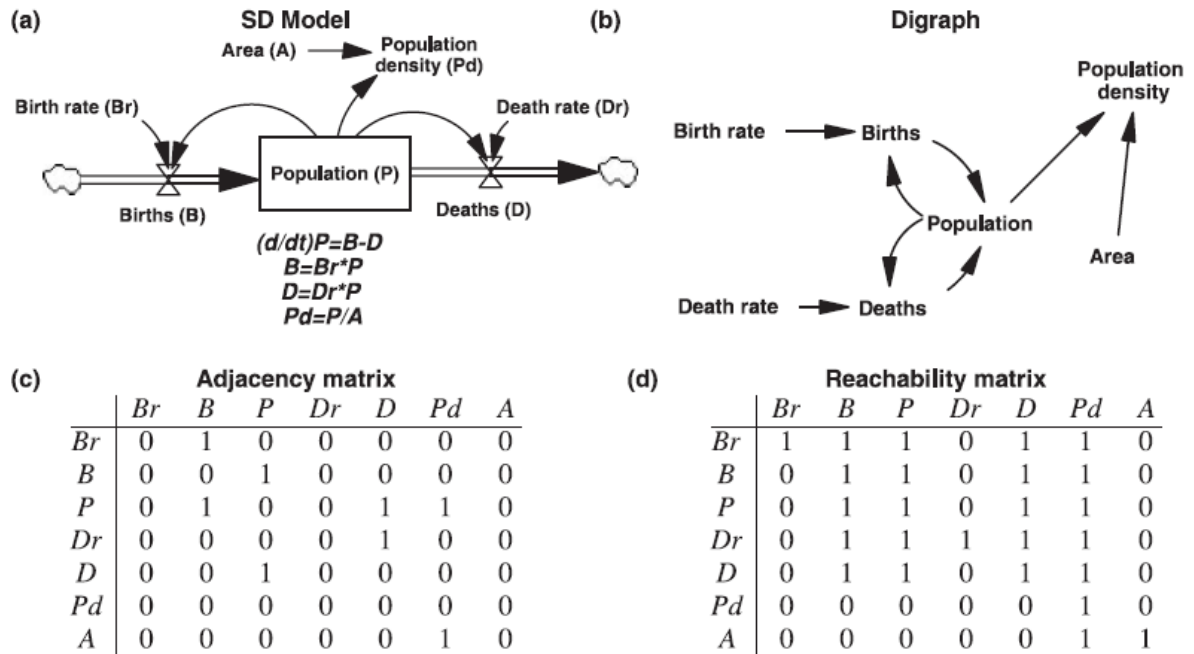


Figura 4. Representación gráfica de la estructura del sistema

3.1.2 Particiones estructurales

3.1.2.1 Particiones de nivel

Es posible obtener la jerarquía de la estructura causal particionando la matriz de accesibilidad en bloques de vértices al mismo nivel en la estructura causal del modelo (Warfield, 1989). Una partición de nivel agrupa las variables de acuerdo a su dependencia en otras variables del modelo. Los miembros del primer nivel son aquellos que no tienen algún sucesor fuera del conjunto de predecesores en la matriz de accesibilidad, esto es, el grupo de variables que no tienen alguna dependencia más allá que la de sí mismos (normalmente las variables de salida de un modelo). Los niveles sucesivos son identificados eliminando de la matriz de accesibilidad el primer nivel y buscando los vértices que no tienen sucesores fuera del conjunto de predecesores (Oliva, 2004).

3.1.2.2 Particiones de ciclo

Cuando todos los elementos en un bucle de realimentación comparten el mismo conjunto de sucesores y predecesores, una partición de nivel agrupa los elementos de los bucles interconectados en un único nivel. Es posible particionar un nivel en bloques de vértices que comparten el mismo conjunto de predecesores y sucesores en una matriz de accesibilidad. Esta partición adicional es llamada una partición de ciclo y el conjunto de vértices es llamado un conjunto máximo de ciclo (Warfield, 1989). La principal característica de un conjunto máximo de ciclo es que todos sus elementos son accesibles desde cualquier elemento del conjunto, esto es, su matriz de accesibilidad está llena de unos, y todos

estos elementos pueden ser trazados por un único bucle de realimentación. Las particiones de ciclo son grafos fuertemente conectados, esto es, grafos con una ruta directa desde un vértice a cualquier otro vértice (Balakrishnan, 1997) y son el núcleo de la estructura de los modelos de dinámica de sistemas ya que estos contienen todos los bucles de realimentación de un modelo (Oliva, 2004).

3.1.3 Estructura de las particiones de ciclo

La principal ventaja de una partición de ciclo es que esta identifica el conjunto de los elementos fuertemente conectados que contienen toda la complejidad de realimentación de la estructura de un modelo. Las interconexiones de una partición de ciclo, y el gran número de bucles de realimentación que esta contiene hace difícil segmentar y obtener estimaciones separadas de los parámetros. Kampmann (1996) sugirió el *independent loop set*, ILS (conjunto independiente de bucle) -- un conjunto máximo de bucles cuyos vectores de incidencia son linealmente independiente-- como un camino para expresar la complejidad de realimentación de una partición de ciclo y mostrar que el ILS, aunque no es único es una descripción completa de la complejidad de realimentación de un grafo. Oliva (2004) propuso una estrategia para identificar un ILS basado en los bucles más cortos posibles y además propuso un algoritmo para organizar el ILS en una forma que permita el entendimiento estructural de las relaciones entre los bucles.

3.1.3.1 Identificando los bucles en una partición de ciclo

La teoría de grafos afirma que elevar una matriz de adyacencia reflexiva (una matriz de adyacencia con su diagonal principal llena con unos) a la i -ésima potencia, permite obtener la matriz de un digrafo con la relación "accesible con i pasos" (Oliva, 2004). Usando este resultado, es posible derivar la *matriz de distancia* (\mathbf{D}) que muestra en cada celda la longitud de la ruta más corta (una secuencia de vértices y aristas no repetidas) entre dos vértices (Warfield, 1989). Una ruta es un camino, una secuencia de vértices y aristas conectadas (Balakrishnan, 1997):

$$\mathbf{B} = \mathbf{C} + \mathbf{I}$$

$$\mathbf{D} = \mathbf{C} + \sum_{i=2}^{|\mathbf{C}|-1} i(\mathbf{B}^i - \mathbf{B}^{i-1})$$

Donde \mathbf{C} es una partición de ciclo de una matriz de adyacencia y todos los operadores están en álgebra ordinaria de matrices (no-booleana), con excepción de las potencias de \mathbf{B} , que resulta de productos booleanos. Debido a que cada elemento del conjunto de ciclo es accesible desde cualquier otro elemento del conjunto, todas las entradas de \mathbf{D} son diferentes de cero. El enlace de la ruta $u \rightarrow v$ y $v \rightarrow u$ define un circuito (un camino entre un vértice y este mismo, por ejemplo un bucle de realimentación) entre los vértices u y v . Un circuito identificado en una matriz de distancia es llamado

circuito geodésico si no hay un circuito más corto en el que estos dos vértices estén implicados (Warfield, 1989). La longitud del circuito geodésico entre todos los pares de vértices de la partición de ciclo puede ser obtenida agregando la transpuesta del componente de bloque triangular inferior de la matriz de distancia a su componente triangular superior $L = D'_L + D_U$. La matriz resultante es triangular superior, y la máxima entrada en L define el circuito geodésico más largo en el conjunto. La figura 7 muestra una partición de ciclo simple y sus matrices correspondientes A , R , D y L .

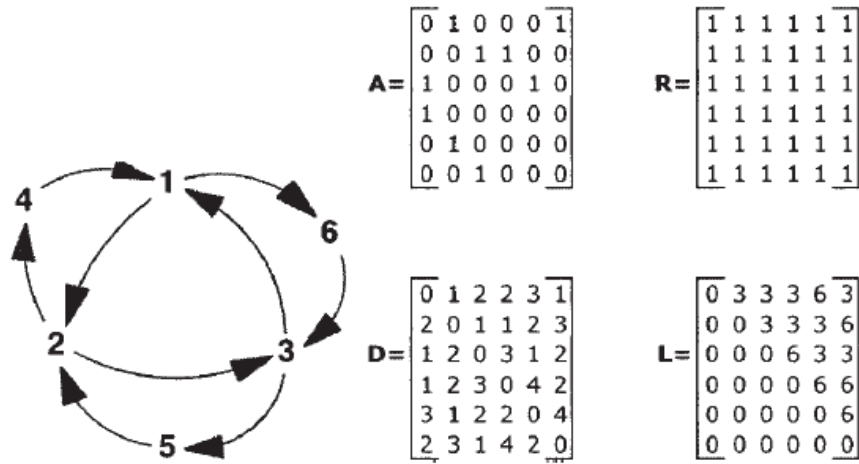


Figura 5. Matrices de longitud y distancia de una partición de ciclo

3.1.3.2 Independent Loop Set (ILS) y Shortest Independent Loop Set (SILS)

Kampmann (1996) probó que el ILS puede ser formado aceptando un bucle de realimentación dentro del conjunto si, y solo si, este contiene por lo menos una arista no incluida en los bucles previamente aceptados. Kampmann sugirió un algoritmo que expande el conjunto de bucles existente al considerar una arista a un vértice adyacente e identificando la ruta más corta de vuelta al conjunto de bucles aceptados. Aunque el algoritmo propuesto por Kampmann identifica el máximo número de bucles independientes de una partición de ciclo, este no toma control de la complejidad de los bucles resultantes. Además, el algoritmo es dependiente de la ruta, luego los nuevos bucles son agregados basándose en el conjunto de bucles existentes, y, dado que el algoritmo no provee un punto de inicio claro, o una regla para seleccionar el siguiente vértice adyacente, no hay forma lógica para seleccionar los bucles en el ILS (Oliva, 2004). Oliva (2004) propuso que la inclusión en el ILS sea a partir de la selección de los bucles más cortos que crean la adición más pequeña de nuevas aristas al conjunto de bucles. Esto es, asegurando que cada bucle para inclusión es un ciclo geodésico (el bucle más corto que

une los dos vértices enlazados por la arista bajo consideración), y que la arista en consideración puede ser siempre cubierta por el bucle más corto no perteneciente al conjunto, el algoritmo produce un ILS con los bucles más cortos. Al ILS formado a través de este proceso Oliva lo denominó el *shortest independent loop set* (SILS). El SILS es una implementación especial del algoritmo de Kampmann. El criterio de la "mínima contribución de nuevas aristas" también satisface el criterio de Kampmann "la ruta más corta de vuelta al conjunto" para la construcción de bucles (Oliva, 2004).

3.2 Elasticidad de los bucles

Nathan Forrester (1983) derivó un método para computar las elasticidades de los valores propios con respecto a las ganancias de los bucles a partir de las elasticidades con respecto a las ganancias de los enlaces.

3.2.1 Sensibilidad de los valores propios

Para un enlace que inicia en una variable de nivel x_j y finaliza en otra variable de nivel x_i , la sensibilidad del valor propio k con respecto a la ganancia de este enlace s_{kij} es definida como el cambio en el valor propio k debido al cambio en la ganancia de este enlace (Forrester, 1983; Abdel-Gawad et al., 2005).

$$s_{kij} = \frac{\partial \lambda_k}{\partial g_{ij}} \quad (9)$$

o, en forma matricial

$$\mathbf{S}_k = \frac{\partial \lambda_k}{\partial \mathbf{G}}$$

La matriz \mathbf{S}_k , puede ser directamente computada (Saleh, M., 2003);

$$\mathbf{S}_k = \mathbf{l}_k \mathbf{r}_k^T$$

Donde \mathbf{l}_k y \mathbf{r}_k^T son los vectores propios izquierdo y derecho del valor propio k respectivamente.

3.2.2 Elasticidad de los valores propios con respecto a los enlaces compactos en la matriz de ganancia.

Para un enlace que inicia en una variable de nivel x_j y finaliza en otra variable de nivel x_i , la elasticidad del valor propio k para la ganancia de este enlace ε_{kij} es definida como el cambio relativo en el valor propio k con respecto al cambio relativo en la ganancia de este enlace (Abdel-Gawad et al., 2005).

$$\varepsilon_{kij} = \frac{\partial \lambda_k / \lambda_k}{\partial g_{ij} / g_{ij}}$$

Usando la definición de la ecuación (9)

$$\varepsilon_{kij} = \frac{1}{\lambda_k} s_{kij} g_{ij}$$

o, en la forma matricial

$$\mathbf{E}_k = \frac{1}{\lambda_k} \mathbf{S}_k \cdot * \mathbf{G}^2$$

Una formulación más útil de la elasticidad de los valores propios es, sin embargo, posible sin tener que calcular la derivada parcial de la matriz de ganancia, \mathbf{G} .

$$\varepsilon_{kij} = \mathbf{l}_k(i) * \mathbf{r}_k(j) * \frac{g_{ij}}{\lambda_k}$$

donde $\mathbf{l}_k(i) \equiv$ el i -ésimo elemento del k -ésimo valor propio izquierdo (vector de $1 \times n$).

$\mathbf{r}_k(j) \equiv$ el j -ésimo elemento del k -ésimo valor propio derecho (vector de $1 \times n$).

3.2.3 Elasticidad de los valores propios con respecto a los enlaces causales.

Las elasticidades de los valores propios con respecto a los enlaces compactos no son de mucho uso por si mismos puesto que no dan indicio del detalle de la estructura del modelo. Es necesario hacer uso de las elasticidades de los enlaces causales del modelo para traer el detalle de la estructura al análisis. La expresión general para las elasticidades de los enlaces causales (se usa indistintamente la expresión elasticidad de los valores propios con respecto a los enlaces causales ó elasticidad de los enlaces causales) es

$$\varepsilon_{klp} = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \varepsilon_{kij} \frac{\sum_{s=1}^S g_{sij}}{\sum_{r=1}^R g_{rij}}$$

² El símbolo $\cdot *$ corresponde a la multiplicación de cada elemento de la matriz del lado izquierdo con el elemento correspondiente de la matriz del lado derecho.

donde ε_{kl_p} \equiv la elasticidad del valor propio k , λ_k al enlace causal l_p
 ε_{kij} \equiv la elasticidad del valor propio k , λ_k al enlace compacto ij , g_{ij}
 $g_{r(s)ij}$ \equiv la ganancia del pathway $r(s)$ desde la variable de estado i a j .
 S \equiv el número de pathways en los que el enlace causal l_p participa.
 R \equiv el número total de pathways entre las variables de estado i y j .

3.3 Procedimiento para realizar el análisis de la dominancia de bucles de realimentación

Güneralp B (2005) propuso una metodología de 10 pasos para establecer el LEEA como un método formal de análisis de dominancia.

En los primeros cuatro pasos se realiza un análisis estructural exploratorio, los restantes seis pasos son cálculos computacionalmente intensivos sobre el diseño estructural producido por los anteriores pasos.

1. Identificar y listar todos los nodos (es decir, todos los elementos excepto las constantes y las funciones de tablas) incluyendo las variables de estado (como stocks) en el modelo. La variable de estado de interés asociada al bucle de realimentación dominante que será analizado puede ser seleccionada.
2. Identificar y listar todos los enlaces causales (Excepto aquellos que implican constantes y vínculos de tipo flujo-repositorio) y los pathways en el modelo. Los enlaces causales deben ser identificados para que sus elasticidades puedan ser computadas y usadas para obtener las elasticidades de los bucles más adelante. La identificación de los pathways permite relacionar las elasticidades de los valores propios computados de la matriz compacta de ganancia G con las elasticidades de los vínculos causales.
3. Identificar y listar los bucles de realimentación en el SILS para el modelo usando el procedimiento de análisis estructural indicado en la sección 3.1.3.2
4. Formar la matriz de ganancia, que representa los enlaces entre las variables de estado en su forma más compacta. Los pathways que enlazan los pares de variables de estados pueden ser agregados en enlaces individuales. Las ganancias de estos enlaces compuestos son los elementos de la matriz de ganancia. En modelos lineales las ecuaciones para estas ganancias compuestas son bastante simples y

los valores llegan a ser constantes; en modelos no lineales, estas ganancias pueden llegar a ser complicadas y sus valores pueden cambiar en el tiempo. Estas cantidades se calculan y se escriben debajo de las ecuaciones del modelo y se toman las derivadas parciales de cada variable de estado.

5. Simular el modelo y leer la matriz de ganancia, las ganancias de los pathways, los flujos netos de las variables de estado sobre el tiempo desde Vensim hacia Matlab. Es necesario usar las funciones que Vensim tiene para exportar los resultados de la simulación y poder ser usados por otro software.

6. Determinar las características de todos los modos de comportamientos elementales del sistema y la contribución de cada modo de comportamiento al comportamiento de la variable de estado de interés. La contribución de cada modo de comportamiento en cualquier tiempo puede ser determinada secuencialmente desactivando todos los modos excepto uno de ellos y notando el cambio en el vector pendiente de la variable seleccionada entre tiempos consecutivos.

7. Computar las elasticidades de los modos de comportamientos (los valores propios) con respecto a los enlaces compactos en la matriz de ganancia.

8. Computar las elasticidades de los valores propios con respecto a cada enlace causal seleccionado en el paso 2.

9. Usando los enlaces identificados en el paso 2 y los bucles en el SILS, formar la matriz cíclica directa. Lo más seguro es que la matriz sea sobre determinada para casi cualquier modelo de dinámica de sistemas. Sin embargo, su rango será igual al número de columnas, así siempre tendrá una única solución (Kampmann, 1996)

10. Computar y graficar los valores de la elasticidad del bucle total sobre el tiempo y evaluar los resultados. Habiendo determinado la elasticidad de los bucles en el paso 9, la elasticidad del bucle total de cualquier bucle puede ser calculado multiplicando la elasticidad del bucle para cada valor propio por el correspondiente peso de contribución del valor propio y rescalando entre -1 y 1.

3.4 Derivada parcial numérica

La derivada numérica puede emplearse para obtener una aproximación de la derivada de una función en un número particular siempre que la derivada exista (Leithold, 1998). La derivada parcial numérica de una función está definida de la siguiente forma:

$$\frac{\partial f}{\partial x_i}(\bar{x}) = \frac{1}{2h} \left(f(\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_{i-1}, \bar{x}_i + h, \bar{x}_{i+1}, \dots, \bar{x}_n) - f(\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_{i-1}, \bar{x}_i - h, \bar{x}_{i+1}, \dots, \bar{x}_n) \right) + O(h^2)$$

Al valor elegido de h se le llama tolerancia.

4 VALIDACIÓN DE LA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL

La aplicación de la metodología propuesta es ilustrada usando 4 modelos de dinámica de sistemas existentes en la literatura. Las ecuaciones de los modelos son dadas en el Apéndice A. La validación de la herramienta se hará en doble dirección, primero verificando que las dominancias de los bucles obtenidas por la aplicación coincidan con los de la literatura y segundo haciendo comparaciones estadísticas de las series generadas. Para los tres primeros modelos, la comparación con la “literatura” se refiere a los resultados obtenidos por Guneralp B (2005), además se hace énfasis en que los resultados sean los mismos, puesto que es la aplicación de la misma metodología pero automatizada. Para el cuarto modelo, la comparación se realiza contra una metodología de diseño de experimentos (Amaya, 2011; Soto, 2010).

4.1 Predator-Prey (Depredador-Presa)

Este modelo representa un sistema no lineal de segundo orden conocido como Lotka-Volterra, que tiene presente dinámicas oscilatorias no lineales en forma sostenida.

El diagrama de existencia y flujo (*Stock-Flow*) se presenta en la siguiente figura:

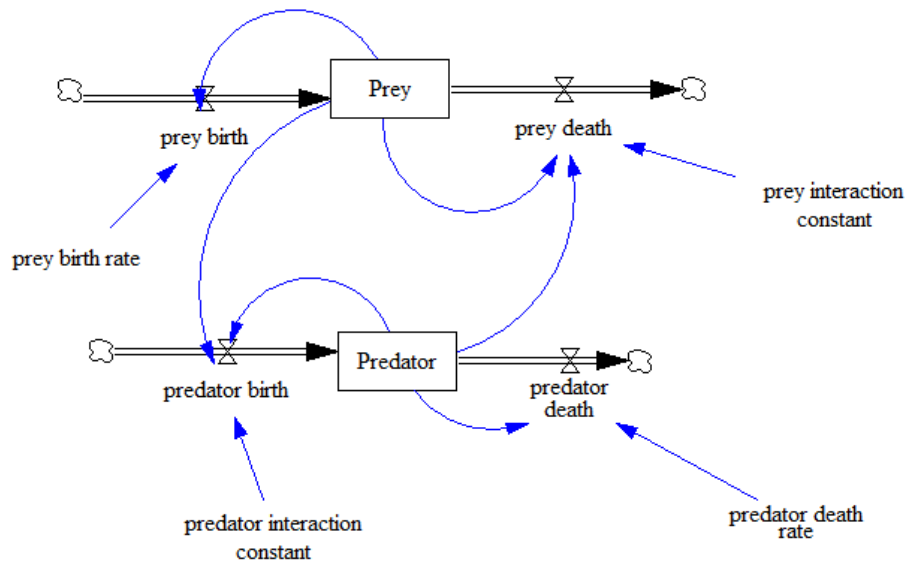


Figura 6. Diagrama de existencias y flujos para el modelo Depredador-Presa

4.1.1 Validación de la aplicación de los 10 pasos de la metodología:

1. Nodos y selección de la variable de estado de interés.

Se identifican 6 nodos en el modelo: Predator, predator birth, predator death, Prey, prey birth, y prey death. Se selecciona como variable de análisis Prey. **Validación:** Los nodos son identificados correctamente. Se seleccionó la misma variable de interés que en la literatura, para poder realizar las comparaciones siguientes.

2. Enlaces causales y pathways:

Se identificaron 6 enlaces causales

| Link no. | Variable sequence |
|----------|---------------------------|
| 1 | Prey – prey birth |
| 2 | Prey – prey death |
| 3 | Prey – predator birth |
| 4 | Predator – predator birth |
| 5 | Predator – predator death |
| 6 | Predator – prey death |

Tabla 1. Enlaces causales del modelo Depredador-Presa

Fuente: (Güneralp B, 2005)

| Causal Links | |
|--------------|-------------------------|
| Link no. | Variable Sequence |
| 1 | Predator-predator birth |
| 2 | Predator-predator death |
| 3 | Predator-prey death |
| 4 | Prey-predator birth |
| 5 | Prey-prey birth |
| 6 | Prey-prey death |

Tabla 2. Enlaces causales del modelo Depredador-Presa (Herramienta)

Validación: Los 6 enlaces causales identificados son correctos, el orden de selección es diferente, pero esto no altera los resultados.

Se identificaron 6 Pathways.

| Pathway no. | Variable sequence |
|-------------|------------------------------------|
| 1 | Prey, prey birth, Prey |
| 2 | Prey, prey death, Prey |
| 3 | Predator, predator birth, Predator |
| 4 | Predator, predator death, Predator |
| 5 | Predator, prey death, Prey |
| 6 | Prey, predator birth, Predator |

Tabla 3. Pathways del modelo Depredador-Presa

Fuente: Guneralp B (2005)

| Pathways | |
|---------------------|----------------------------------|
| <i>Pathways no.</i> | <i>Variable sequence</i> |
| 1 | Predator,predator birth,Predator |
| 2 | Predator,predator death,Predator |
| 3 | Predator,prey death,Prey |
| 4 | Prey,predator birth,Predator |
| 5 | Prey,prey birth,Prey |
| 6 | Prey,prey death,Prey |

Tabla 4. Pathways en el modelo Depredador-Presa (Herramienta)

Validación: Solo cambia el orden de selección.

3. Bucles de realimentación en el SILS

Los bucles identificados en el SILS se muestran a continuación:

| Loop no. | Variable sequence |
|----------|--|
| L1 | Prey, prey birth |
| L2 | Prey, prey death |
| L3 | Predator, predator birth |
| L4 | Predator, predator death |
| L5 | Predator, prey death, Prey, predator birth |

Tabla 5. Bucles en el SILS del modelo Depredador-Presa

Fuente: Guneralp B (2005)

Feedback loops in the Shortest Independent Loop Set

| <i>Loop no.</i> | <i>Variable sequence</i> |
|-----------------|--------------------------|
| 1 | Predator,predator birth |
| 2 | Predator,predator death |
| 3 | Prey,prey birth |

| | |
|---|---|
| 4 | Prey,prey death |
| 5 | Predator,prey death,Prey,predator birth |

Tabla 6. Bucles en el SILS del modelo Depredador-Presa (Herramienta)

Validación: Solo cambia el orden de selección.

4. Formar la matriz de ganancia:

El modelo es no lineal de segundo orden, luego las dimensiones de la matriz de ganancia serán de 2×2.

A continuación se muestra la estructura de la matriz de ganancia:

Structure of the Gain Matrix

| | |
|---|---|
| $\frac{\partial \text{Predator}}{\partial \text{Predator}}$ | $\frac{\partial \text{Predator}}{\partial \text{Prey}}$ |
| $\frac{\partial \text{Prey}}{\partial \text{Predator}}$ | $\frac{\partial \text{Prey}}{\partial \text{Prey}}$ |

Tabla 7. Estructura de la matriz de ganancia del modelo Depredador-Presa (Herramienta)

$$\mathbf{G}_{\text{predator-prey}} = \begin{bmatrix} \frac{\partial \text{Prey}}{\partial \text{Prey}} & \frac{\partial \text{Prey}}{\partial \text{Predator}} \\ \frac{\partial \text{Predator}}{\partial \text{Prey}} & \frac{\partial \text{Predator}}{\partial \text{Predator}} \end{bmatrix}$$

Tabla 8. Estructura de la matriz de ganancia del modelo Depredador-Presa

Fuente: Guneralp B (2005)

Validación: La estructura de la matriz de ganancia seleccionada es correcta. Como el orden de las variables es invertido se debe tener cuidado al realizar las comparaciones numéricas.

Gain Matrix

| | |
|---|--|
| $\frac{(((\text{predator interaction constant} * \text{Prey} * (\text{Predator} + 0.001)) - (\text{predator death rate} * (\text{Predator} + 0.001))) - ((\text{predator interaction constant} * \text{Prey} * (\text{Predator} - 0.001)) - (\text{predator death rate} * (\text{Predator} - 0.001))))}{(2 * 0.001)}$ | $\frac{(((\text{predator interaction constant} * (\text{Prey} + 0.001) * \text{Predator}) - (\text{predator death rate} * \text{Predator})) - ((\text{predator interaction constant} * (\text{Prey} - 0.001) * \text{Predator}) - (\text{predator death rate} * \text{Predator}))))}{(2 * 0.001)}$ |
| $\frac{(((\text{prey birth rate} * \text{Prey}) - (\text{prey interaction constant} * \text{Prey} * (\text{Predator} + 0.001))) - ((\text{prey birth rate} * \text{Prey}) - (\text{prey interaction constant} * \text{Prey} * (\text{Predator} - 0.001))))}{(2 * 0.001)}$ | $\frac{(((\text{prey birth rate} * (\text{Prey} + 0.001)) - (\text{prey interaction constant} * (\text{Prey} + 0.001) * \text{Predator})) - ((\text{prey birth rate} * (\text{Prey} - 0.001)) - (\text{prey interaction constant} * (\text{Prey} - 0.001) * \text{Predator}))))}{(2 * 0.001)}$ |

Tabla 9. Matriz de ganancia con derivadas parciales aproximadas para el modelo Depredador-Presa

Validación: Las derivadas parciales son halladas por aproximación numérica, para ver la demostración de estas derivadas remítase al Apéndice B.1.

5. Simular el modelo y leer la matriz de ganancia, ganancias de los pathways y variables de flujos sobre el tiempo.

El comportamiento de la variable de interés se presenta en la Figura 6. El análisis se realizará para un periodo de 30 meses, que es aproximadamente el periodo de las oscilaciones. Para ver las ganancias de los pathways remítase al Apéndice B.2.

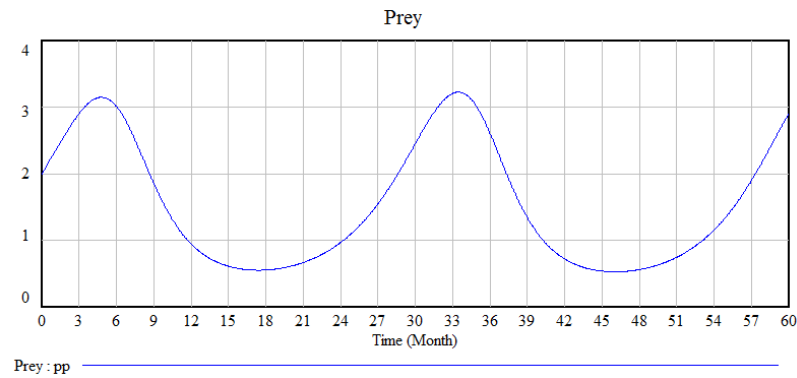


Figura 7. Comportamiento de la variable de interés, Prey

6. Modos de comportamiento.

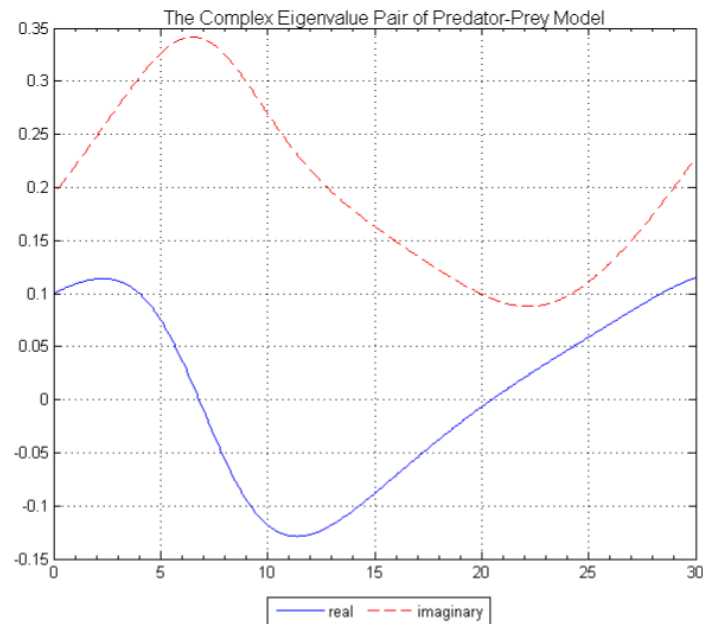


Figura 8. Valor propio complejo en el modelo Predator-Prey

El único modo de comportamiento obtenido para este modelo es de oscilaciones sostenidas, que es el mismo descrito en la literatura.

7. Elasticidades de los valores propios con respecto a los enlaces compactos.

Las elasticidades de los valores propios con respecto a los enlaces compactos son halladas para cada valor del tiempo t . No se muestran por brevedad.

8. Elasticidades de los valores propios con respecto a cada enlace causal.

$$ec1,1=E(1,1,1)*(g11p1)/(g11p1+g11p2)$$

$$ec2,1=E(1,1,1)*(g11p2)/(g11p1+g11p2)$$

$$ec3,1=E(1,2,1)*(g12p1)/(g12p1)$$

$$ec4,1=E(2,1,1)*(g21p1)/(g21p1)$$

$$ec5,1=E(2,2,1)*(g22p1)/(g22p1+g22p2)$$

$$ec6,1=E(2,2,1)*(g22p2)/(g22p1+g22p2)$$

$$ec1,2=E(1,1,2)*(g11p1)/(g11p1+g11p2)$$

$$ec2,2=E(1,1,2)*(g11p2)/(g11p1+g11p2)$$

$$ec3,2=E(1,2,2)*(g12p1)/(g12p1)$$

$$ec4,2=E(2,1,2)*(g21p1)/(g21p1)$$

$$ec5,2=E(2,2,2)*(g22p1)/(g22p1+g22p2)$$

$$ec6,2=E(2,2,2)*(g22p2)/(g22p1+g22p2)$$

9. Matriz Cíclica directa

La matriz cíclica directa muestra en qué bucles están contenidos los enlaces causales. Las matrices directas se muestran a continuación.

| Directed Cycle Matrix | | | | | |
|-----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | <i>L1</i> | <i>L2</i> | <i>L3</i> | <i>L4</i> | <i>L5</i> |
| cl1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| cl3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| cl4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| cl5 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| cl6 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |

Tabla 10. Matriz cíclica directa para el modelo Depredador-Presa (Herramienta)

| | <i>L1</i> | <i>L2</i> | <i>L3</i> | <i>L4</i> | <i>L5</i> |
|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <i>cl1</i> | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>cl2</i> | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| <i>cl3</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| <i>cl4</i> | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| <i>cl5</i> | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| <i>cl6</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |

Tabla 11. Matriz cíclica directa para el modelo Depredador-Presa

Fuente: Guneralp B (2005)

Validación: Para validar la matriz directa obtenida por la herramienta computacional es necesario verificar cada entrada de acuerdo al orden de los enlaces causales y los bucles.

- Primera Fila: El enlace causal 1 (cl1) está contenido en el Loop 1 (L1). El cl1 es: Predator-predator birth, el L1 es: Predator, predator birth, Predator.
- Segunda Fila: El enlace causal 2 (cl2) está contenido en el Loop 2 (L2). El cl2 es: Predator-predator death, el L2 es: Predator, predator death, Predator.
- Tercera Fila: El enlace causal 3 (cl3) está contenido en el Loop 5 (L5). El cl3 es: Predator-prey death, el L5 es: Predator, prey death, Prey, predator birth.
- Cuarta Fila: El enlace causal 4 (cl4) está contenido en el Loop 5 (L5). El cl4 es: Prey-predator birth, el L5 es Predator,prey death,Prey,predator birth.
- Quinta Fila: El enlace causal 5 (cl5) está contenido en el Loop 3 (L3). El cl5 es: Prey-prey birth, el L3 es: Prey,prey birth.
- Sexta Fila: El enlace causal 6 (cl6) está contenido en el Loop 4 (L4). El cl6 es: Prey-prey death, el L4 es: Prey,prey death.

Para cada caso se subraya el enlace causal en el Loop. Luego, la matriz directa obtenida por la herramienta es la correcta y solo existe un orden diferente de presentación, pero no se afectan los resultados.

10. Elasticidad general de los bucles

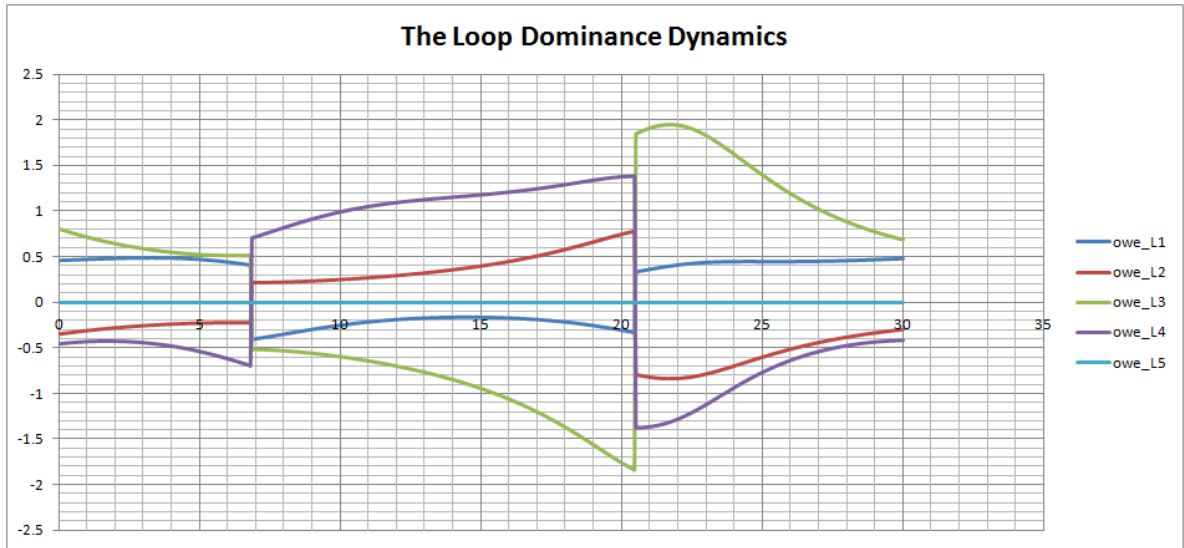


Figura 9. Elasticidad General de los bucles, modelo Predator-Prey

4.1.2 Validación estadística, muestras pareadas

Deseamos comparar las series de tiempos para los pesos re-escalados de las elasticidades de los 5 bucles que se encontraron. Para saber si dos series son estadísticamente iguales se puede realizar una prueba de hipótesis para comparaciones pareadas. En total se deben realizar 5 pruebas de hipótesis asociadas a los 5 bucles encontrados.

$$\begin{aligned} H_0: \mu_1 &= \mu_2 & \text{Esto es:} & H_0: \bar{D} = 0 \\ H_1: \mu_1 &\neq \mu_2 & & H_1: \bar{D} \neq 0 \end{aligned}$$

| | rwe_L1 | rwe_L2 | rwe_L3 | rwe_L4 | rwe_L5 |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| \bar{d} | 0.001641837 | 0.000454767 | 0.000803559 | 0.001477206 | 0.000618445 |
| Sd | 0.03449488 | 0.014769327 | 0.026031581 | 0.032879202 | 0.023496051 |
| T | 1.649479234 | 1.067086425 | 1.069765455 | 1.557010158 | 0.912174728 |
| $t_{\alpha/2, n-1} = t_{0.025, 1200}$ | 1.961942839 | | | | |
| Decision: $\text{abs}(t) > t_{\alpha/2, n-1}$ | No rechazo | No rechazo | No rechazo | No rechazo | No rechazo |

$$\text{Con } t = \frac{\bar{d}}{s_d/\sqrt{n}} \text{ y } \alpha = 0.05$$

En cada uno de los casos como el valor absoluto de t no es mayor que $t_{\alpha/2, n-1}$ no se rechaza la hipótesis nula. **Conclusión para la prueba de rwe_L1:** con un nivel de confianza del 95% podemos afirmar que no existe suficiente evidencia estadística que indique que las series producen resultados diferentes.

La conclusión dada para rwe_L2,...rwe_L5 se sigue de la misma manera que para rwe_L1.

4.1.3 Validación estadística, Desigualdad de Theil-Sterman

Tomemos los pesos re-escalados del Loop 1, que es el que presenta mayor desviación estándar pareada.

Los valores obtenidos fueron:

| MSE | Dif Varianza | Dif Covarianza | Dif Media |
|-------------|--------------|----------------|-------------|
| 1.01574E-08 | 3.30654E-08 | 2.85455E-08 | 1.01574E-08 |

Calculemos los valores de los sesgos:

| UC | UM | US |
|------------|------------|-----------|
| 0.39774524 | 0.14153045 | 0.4607243 |

Se puede concluir que no existe algún problema en la comparación de las series por las siguientes razones:

- El valor del error cuadrático medio es muy bajo, 1.01574E-08.
- No existe un valor en los componentes del error que esté cercano a 1.
- El error debido a la media es solo de 14% del error total que es muy bajo.
- En la gráfica se puede observar un comportamiento muy similar en ambas series.

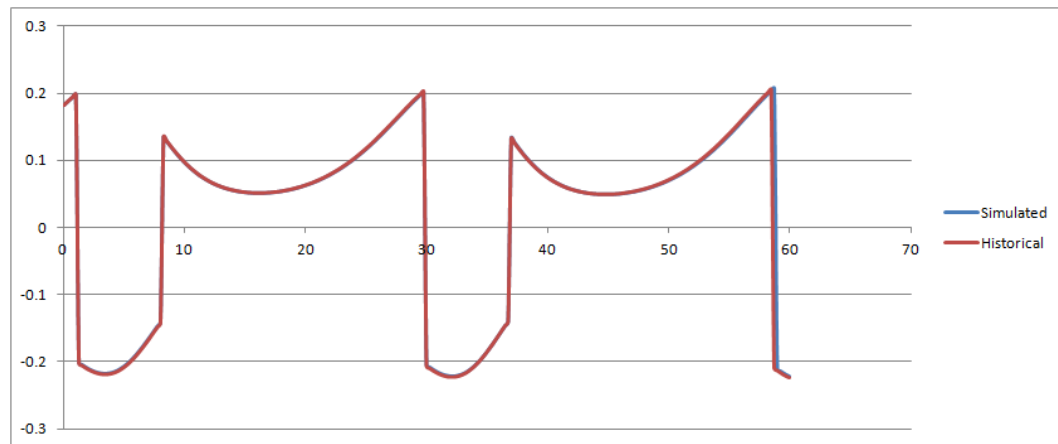


Figura 10. Comportamiento de las series Loop1, histórico y simulado

4.2 Yeast Population (Población de Levaduras)

Este es un modelo no lineal de segundo orden que muestra las dinámicas de la población de levaduras.

El diagrama de flujo y existencia se muestra a continuación.

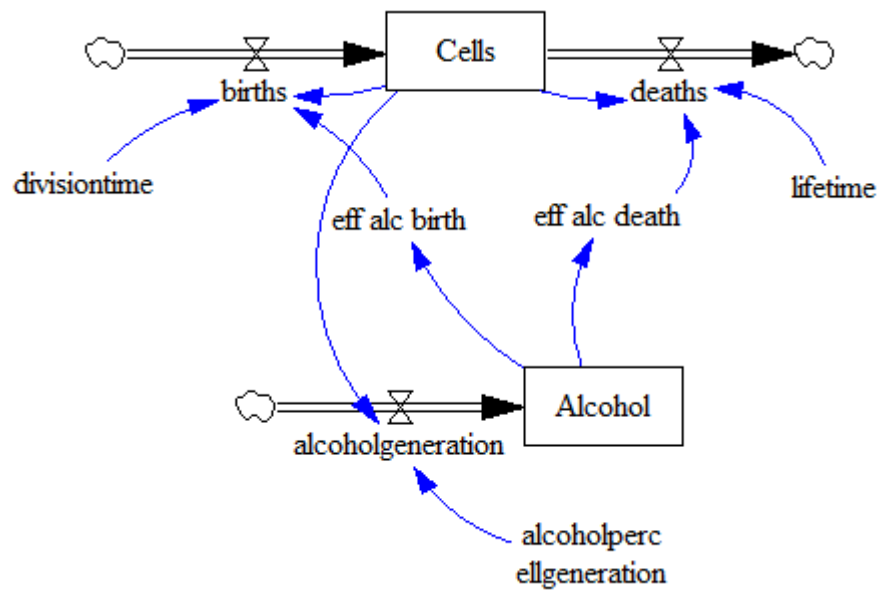


Figura 11. Diagrama de flujos y existencias para el modelo Yeast-Population

4.2.1 Validación de la aplicación de los 10 pasos de la metodología:

1. Nodos y selección de la variable de estado de interés.

Se determinan 8 nodos en el modelo: Alcohol, Cells, births, deaths, alcoholgeneration, alcoholpercellgeneration, eff alc birth, y eff alc death. Se selecciona la variable Cells para corresponder con la variable seleccionada en la literatura. Los nodos seleccionados son los correctos.

2. Enlaces causales y pathways:

Se identificaron 7 enlaces causales. Se muestran a continuación.

| Link no. | Variable sequence |
|----------|---------------------------|
| 1 | Alcohol – eff alc birth |
| 2 | Alcohol – eff alc death |
| 3 | Cells – alcoholgeneration |
| 4 | Cells – births |
| 5 | Cells – deaths |
| 6 | eff alc birth – births |
| 7 | eff alc death – deaths |

Tabla 12. Enlaces causales del modelo Yeast Population

Fuente: Guneralp B (2005)

| Causal Links | |
|--------------|-------------------|
| Link no. | Variable Sequence |

| | |
|---|-------------------------|
| 1 | Alcohol-eff alc birth |
| 2 | Alcohol-eff alc death |
| 3 | Cells-alcoholgeneration |
| 4 | Cells-births |
| 5 | Cells-deaths |
| 6 | eff alc birth-births |
| 7 | eff alc death-deaths |

Tabla 13. Enlaces causales del modelo Yeast Population (Herramienta)

Validación: Los enlaces causales obtenidos por la herramienta corresponden a los enlaces causales de la literatura.

| Pathway no. | Variable sequence |
|-------------|---------------------------------------|
| 1 | Cells, births, Cells |
| 2 | Cells, deaths, Cells |
| 3 | Cells, alcoholgeneration, Alcohol |
| 4 | Alcohol, eff alc birth, births, Cells |
| 5 | Alcohol, eff alc death, deaths, Cells |

Tabla 14. Pathways del modelo Yeast Population

Fuente: Guneralp B (2005)

| Pathways | |
|--------------|------------------------------------|
| Pathways no. | Variable sequence |
| 1 | Alcohol,eff alc birth,births,Cells |
| 2 | Alcohol,eff alc death,deaths,Cells |
| 3 | Cells,alcoholgeneration,Alcohol |
| 4 | Cells,births,Cells |
| 5 | Cells,deaths,Cells |

Tabla 15. Pathways del modelo Yeast Population (Herramienta)

Validación: El conjunto de pathways identificados es el mismo que en la literatura, solo cambia el orden de selección.

3. Bucles de realimentación en el SILS

Se encontraron 5 bucles en el SILS. Se muestran a continuación.

Feedback loops in the Shortest Independent Loop Set

| Loop no. | Variable sequence |
|----------|-------------------|
| 1 | Cells,births |
| 2 | Cells,deaths |

| | |
|---|--|
| 3 | Alcohol,eff alc birth,births,Cells,alcoholgeneration |
| 4 | Alcohol,eff alc death,deaths,Cells,alcoholgeneration |

Tabla 16. Sils del modelo Yeast Population (Herramienta)

| Loop no. | Variable sequence |
|----------|--|
| L1 | Cells, births |
| L2 | Cells, deaths |
| L3 | Alcohol, eff alc birth, births, Cells, alcoholgeneration |
| L4 | Alcohol, eff alc death, deaths, Cells, alcoholgeneration |

Tabla 17. Sils del modelo Yeast Population

Fuente: Guneralp B (2005)

Validación: Los bucles encontrados por la herramienta son equivalentes a los dados en la literatura. El orden de selección fue el mismo.

4. Formar la matriz de ganancia:

Como el modelo es no lineal de segundo orden, la matriz de ganancia será de 2×2. A continuación se muestran las matrices.

Structure of the Gain Matrix

| | |
|---|---|
| $\partial \text{Alcohol} / \partial \text{Alcohol}$ | $\partial \text{Alcohol} / \partial \text{Cells}$ |
| $\partial \text{Cells} / \partial \text{Alcohol}$ | $\partial \text{Cells} / \partial \text{Cells}$ |

Tabla 18. Estructura de la matriz de ganancia del modelo Yeast Population (Herramienta)

$$\mathbf{G}_{\text{yeast}} = \begin{bmatrix} \frac{\partial \dot{\text{Cells}}}{\partial \text{Cells}} & \frac{\partial \dot{\text{Cells}}}{\partial \text{Alcohol}} \\ \frac{\partial \dot{\text{Alcohol}}}{\partial \text{Cells}} & \frac{\partial \dot{\text{Alcohol}}}{\partial \text{Alcohol}} \end{bmatrix}$$

Tabla 19. Estructura de la matriz de ganancia del modelo Yeast Population

Fuente: Guneralp B (2005)

El orden de selección de las variables de estado por la herramienta es Cells, y luego Alcohol. Esto influye en el orden de presentación de los valores propios, pero no afecta los resultados finales. A continuación se presenta la matriz de ganancia con derivadas numéricas.

Gain Matrix

| | |
|--|--|
| 0 | $\frac{(((Cells+0.0005)*alcoholpercellgeneration))-(((Cells-0.0005)*alcoholpercellgeneration))}{(2*0.0005)}$ |
| $\frac{(((Cells/divisiontime)*((-0.1*(Alcohol+0.0005))+1.1))-((Cells/lifetime)*(EXP((Alcohol+0.0005)-11))))-(((Cells/divisiontime)*((-0.1*(Alcohol-0.0005))+1.1))-((Cells/lifetime)*(EXP((Alcohol-0.0005)-11))))}{(2*0.0005)}$ | $\frac{(((Cells+0.0005)/divisiontime)*((-0.1*Alcohol)+1.1))-(((Cells+0.0005)/lifetime)*(EXP(Alcohol-11))))-(((Cells-0.0005)/divisiontime)*((-0.1*Alcohol)+1.1))-(((Cells-0.0005)/lifetime)*(EXP(Alcohol-11))))}{(2*0.0005)}$ |

Tabla 20. Matriz de ganancia del modelo Yeast Population (Herramienta)

Validación: Las derivadas parciales son halladas por aproximación numérica, para ver la demostración de estas derivadas remítase al Apéndice B.3.

5. Simular el modelo y leer la matriz de ganancia, ganancias de los pathways y variables de flujos sobre el tiempo.

A continuación se muestra el comportamiento de la variable de interés para un periodo de 90 minutos.

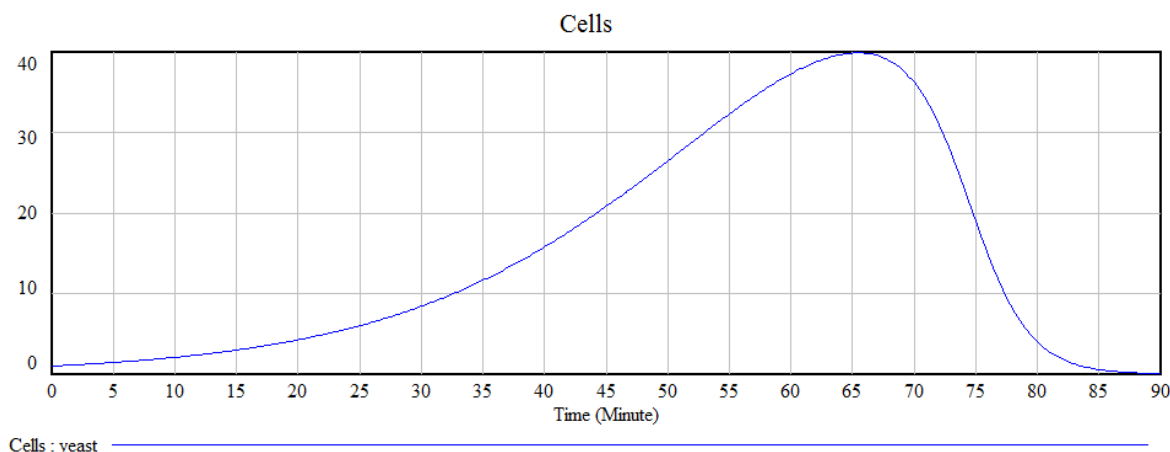


Figura 12. Comportamiento de la variable de interés, Cells

Para observar las ganancias de los pathways remítase al apéndice B.4.

6. Modos de comportamiento.

A continuación se presentan las contribuciones relativas asociadas a los modos de comportamientos.

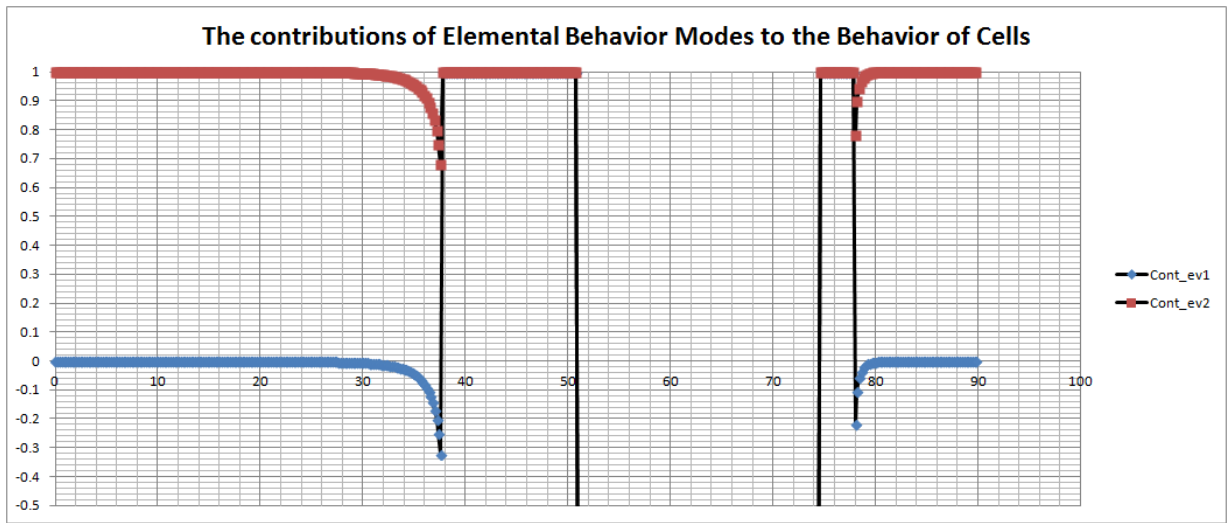


Figura 13. Contribuciones de los modos de comportamiento al comportamiento de Cells

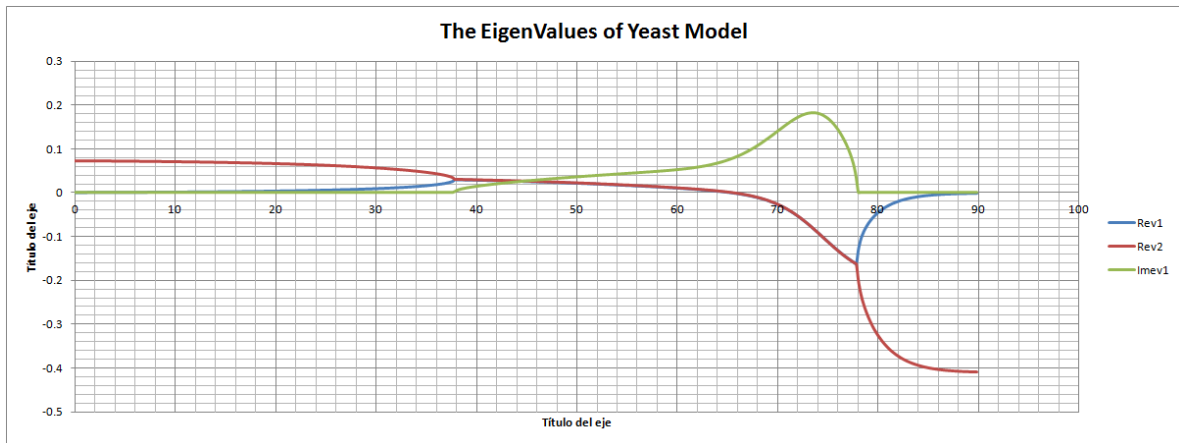


Figura 14. Valores propios en el Modelo Yeast Population

7. Elasticidades de los valores propios con respecto a los enlaces compactos.
Las elasticidades de los valores propios con respecto a los enlaces compactos son halladas para cada valor del tiempo t . No se muestran por brevedad.
8. Elasticidades de los valores propios con respecto a cada enlace causal.

$$ec11,1 = E(1,2,1) * (g12p1) / (g12p1 + g12p2)$$

$$ec12,1 = E(1,2,1) * (g12p2) / (g12p1 + g12p2)$$

$$ec13,1 = E(2,1,1) * (g21p1) / (g21p1)$$

$$ec14,1 = E(2,2,1) * (g22p1) / (g22p1 + g22p2)$$

$$ec15,1 = E(2,2,1) * (g22p2) / (g22p1 + g22p2)$$

$$ec16,1 = E(1,2,1) * (g12p1) / (g12p1 + g12p2)$$

$ec17,1 = E(1,2,1) * (g12p2) / (g12p1 + g12p2)$
 $ec11,2 = E(1,2,2) * (g12p1) / (g12p1 + g12p2)$
 $ec12,2 = E(1,2,2) * (g12p2) / (g12p1 + g12p2)$
 $ec13,2 = E(2,1,2) * (g21p1) / (g21p1)$
 $ec14,2 = E(2,2,2) * (g22p1) / (g22p1 + g22p2)$
 $ec15,2 = E(2,2,2) * (g22p2) / (g22p1 + g22p2)$
 $ec16,2 = E(1,2,2) * (g12p1) / (g12p1 + g12p2)$
 $ec17,2 = E(1,2,2) * (g12p2) / (g12p1 + g12p2)$

9. Matriz Cíclica directa

| Directed Cycle Matrix | | | | |
|------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | <i>L1</i> | <i>L2</i> | <i>L3</i> | <i>L4</i> |
| cl1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| cl2 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| cl3 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| cl4 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| cl5 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| cl6 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| cl7 | 0 | 0 | 0 | 1 |

Tabla 21. Matriz cíclica directa del modelo Yeast Population (Herramienta)

| | <i>L1</i> | <i>L2</i> | <i>L3</i> | <i>L4</i> |
|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <i>cl1</i> | 0 | 0 | 1 | 0 |
| <i>cl2</i> | 0 | 0 | 0 | 1 |
| <i>cl3</i> | 0 | 0 | 1 | 1 |
| <i>cl4</i> | 1 | 0 | 0 | 0 |
| <i>cl5</i> | 0 | 1 | 0 | 0 |
| <i>cl6</i> | 0 | 0 | 1 | 0 |
| <i>cl7</i> | 0 | 0 | 0 | 1 |

Tabla 22. Matriz cíclica directa

Fuente: Guneralp B (2005)

Validación: Para validar la matriz directa obtenida por la herramienta computacional es necesario verificar cada entrada de acuerdo al orden de los enlaces causales y los bucles.

- Primera Fila: El enlace causal 1 (cl1) está contenido en el Loop 3 (L3). El cl1 es: Alcohol-eff alc birth, el L3 es: Alcohol, eff alc birth, births, Cells, alcoholgeneration.
- Segunda Fila: El enlace causal 2 (cl2) está contenido en el Loop 4 (L4). El cl2 es: Alcohol-eff alc death, el L4 es: Alcohol, eff alc death, deaths, Cells, alcoholgeneration.

- Tercera Fila: El enlace causal 3 (cl3) está contenido en el Loop 3 (L3) y en el Loop 4 (L4). El cl3 es: Cells-alcoholgeneration, el L3 es: Alcohol, eff alc birth, births, Cells, alcoholgeneration, el L4 es: Alcohol, eff alc death, deaths, Cells, alcoholgeneration.
- Cuarta Fila: El enlace causal 4 (cl4) está contenido en el Loop 1 (L1). El cl4 es: Cells-births, el L1 es: Cells,births.
- Quinta Fila: El enlace causal 5 (cl5) está contenido en el Loop 2 (L2). El cl5 es: Cells-deaths, el L2 es: Cells,deaths.
- Sexta Fila: El enlace causal 6 (cl6) está contenido en el Loop 3 (L3). El cl6 es: eff alc birth-births, el L3 es: Alcohol, eff alc birth, births, Cells, alcoholgeneration.
- Séptima Fila: El enlace causal 7 (cl7) está contenido en el Loop 4 (L4). El cl7 es eff alc death-deaths, el L4 es: Alcohol, eff alc death, deaths, Cells, alcoholgeneration

Para cada caso se subraya el enlace causal en el Loop. Luego, la matriz directa obtenida por la herramienta es la correcta.

10. Elasticidad general de los bucles

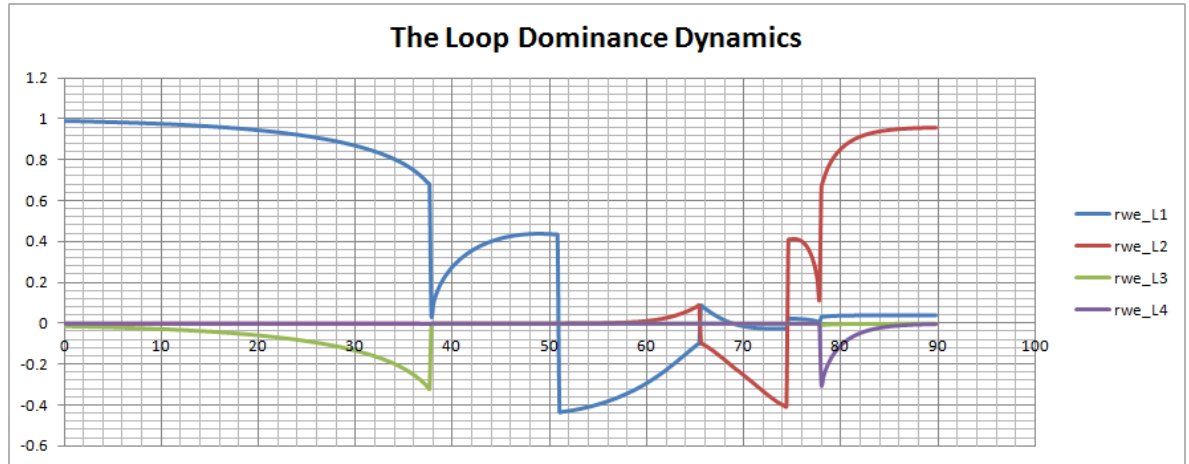


Figura 15. Elasticidad General de los bucles en el modelo Yeast Population

4.2.2 Validación estadística, muestras pareadas

Deseamos comparar las series de tiempos para los pesos re-escalados de las elasticidades de los 4 bucles que se encontraron. Realizaremos una prueba de hipótesis para comparaciones pareadas. En total se deben realizar 4 pruebas de hipótesis asociadas a los 4 bucles encontrados.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 \quad \text{Esto es:} \quad H_0: \bar{D} = 0$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

$$H_1: \bar{D} \neq 0$$

| | rwe_L1 | rwe_L2 | rwe_L3 | rwe_L4 |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|
| \bar{d} | 0.0000743 | 0.0021995 | 0.0000248 | 0.0027420 |
| Sd | 0.00269 | 0.04463 | 0.00154 | 0.04542 |
| T | 0.586124346 | 1.046594501 | 0.341583073 | 1.282161359 |
| $t_{\alpha/2, n-1} = t_{0.025, 450}$ | 1.965249665 | | | |
| Decision: $\text{abs}(t) > t_{\alpha/2, n-1}$ | No rechazo | No rechazo | No rechazo | No rechazo |

Con $t = \frac{\bar{d}}{s_d/\sqrt{n}}$ y $\alpha = 0.05$

En cada uno de los casos como el valor absoluto de t no es mayor que $t_{\alpha/2, n-1}$ no se rechaza la hipótesis nula. **Conclusión para la prueba de rwe_L1:** con un nivel de confianza del 95% podemos afirmar que no existe suficiente evidencia estadística que indique que las series producen resultados diferentes.

La conclusión dada para rwe_L2,...rwe_L4 se sigue de la misma manera que para rwe_L1.

4.2.3 Validación estadística, desigualdad Theil-Sterman

Para realizar la validación seleccionemos el loop que tiene mayor desviación estándar: el Loop 4.

Los resultados son los siguientes:

| MSE | Dif Covarianza | Dif Media | Dif Varianza |
|---------|----------------|-----------|--------------|
| 8.2E-13 | 8.2E-13 | 0 | 0 |

Calculemos los valores de los sesgos:

| UC | US | UM |
|----|----|----|
| 1 | 0 | 0 |

En las tablas anteriores podemos observar que el error cuadrático medio es muy bajo: 8.2E-13; y se debe únicamente a la diferencia en la covarianza. Un valor muy alto de diferencia en covarianza indica que la mayor parte del error es no sistemático con respecto al propósito del modelo y no debe ser criticado por no coincidir en el componente aleatorio de los datos.

4.3 Economic Long Wave (Longitud de onda económica)

El siguiente modelo aunque tiene una estructura simple es capaz de generar dinámicas complicadas debido a las no linealidades. El modelo es llamado Longitud de Onda Económica (Economic Long Wave) de Sterman (1985) y es presentado por Guneralp B (2005) en la literatura. Se verifica en este caso solo el análisis estructural y no el estadístico³.

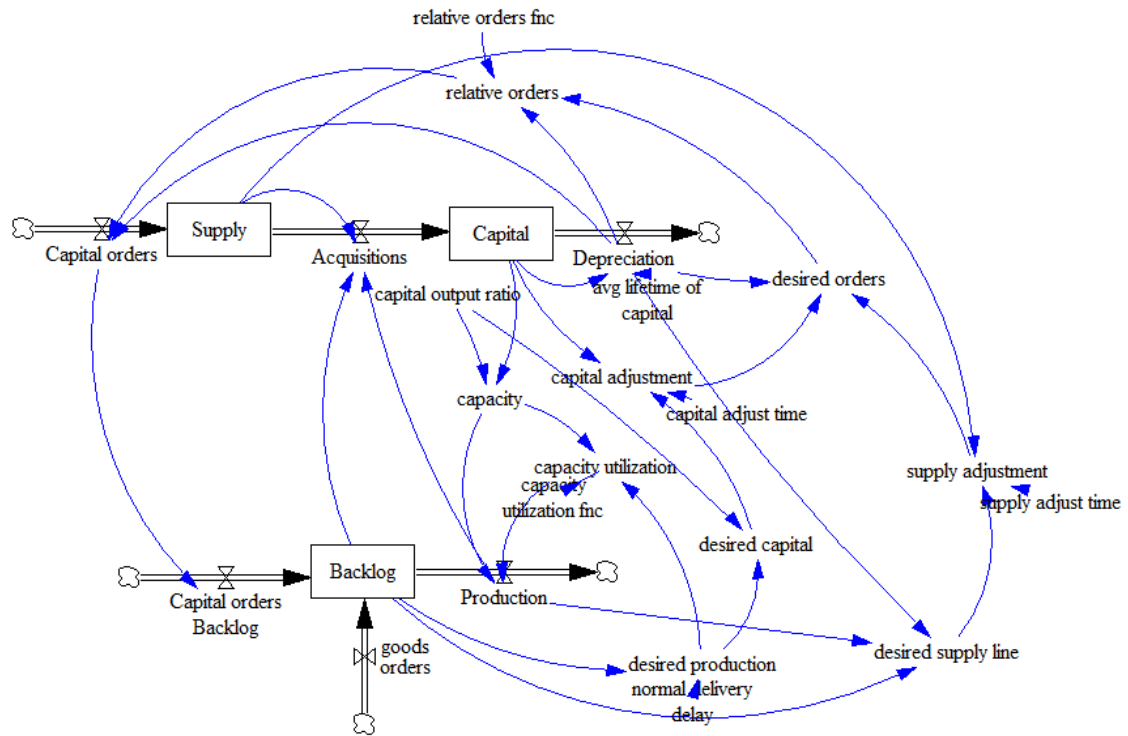


Figura 16. Diagrama de flujos y existencias para el modelo Economic Long Wave

4.3.1 Validación de la aplicación de los 10 pasos de la metodología:

1. Nodos y selección de la variable de estado de interés.

Se determinan 19 nodos, se muestran a continuación: Acquisitions, Backlog, capacity, capacity utilization, capacity utilization fnc, Capital, capital adjustment, Capital orders, Capital orders Backlog, Depreciation, desired capital, desired orders, desired production, desired supply line, Production, relative orders, relative orders fnc, Supply, supply adjustment.

2. Enlaces causales y pathways:

Se encontraron 26 enlaces causales y 36 pathways.

³ El autor (Guneralp B) utiliza una serie de tiempo que no es generada en exactitud por el modelo que presenta, haciendo imposible la validación estadística.

| Causal Links | |
|---------------------|---|
| <i>Link no.</i> | <i>Variable Sequence</i> |
| 1 | Backlog-Acquisitions |
| 2 | Backlog-desired production |
| 3 | Backlog-desired supply line |
| 4 | capacity-capacity utilization |
| 5 | capacity-Production |
| 6 | capacity utilization-Production |
| 7 | Capital-capacity |
| 8 | Capital-capital adjustment |
| 9 | Capital-Depreciation |
| 10 | capital adjustment-desired orders |
| 11 | Capital orders-Capital orders Backlog |
| 12 | Depreciation-Capital orders |
| 13 | Depreciation-desired orders |
| 14 | Depreciation-desired supply line |
| 15 | Depreciation-relative orders |
| 16 | desired capital-capital adjustment |
| 17 | desired orders-relative orders |
| 18 | desired production-capacity utilization |
| 19 | desired production-desired capital |
| 20 | desired supply line-supply adjustment |
| 21 | Production-Acquisitions |
| 22 | Production-desired supply line |
| 23 | relative orders-Capital orders |
| 24 | Supply-Acquisitions |
| 25 | Supply-supply adjustment |
| 26 | supply adjustment-desired orders |

Tabla 23. Enlaces causales del modelo Long Wave (Herramienta)

Se determinan 26 pathways. 11 pathways tienen origen en Backlog, 21 pathways en Capital y 4 pathways tienen origen en la variable Supply.

| Pathways | |
|---------------------|---|
| <i>Pathways no.</i> | <i>Variable sequence</i> |
| 1 | Backlog,Acquisitions,Capital |
| 2 | Backlog,Acquisitions,Supply |
| 3 | Backlog,desired production,capacity utilization,Production,Acquisitions,Capital |
| 4 | Backlog,desired production,capacity utilization,Production,Acquisitions,Supply |
| 5 | Backlog,desired production,capacity utilization,Production,Backlog |
| 6 | Backlog,desired production,capacity utilization,Production,desired supply line,supply adjustment,desired orders,relative orders,Capital orders,Capital orders Backlog,Backlog |
| 7 | Backlog,desired production,capacity utilization,Production,desired supply line,supply adjustment,desired orders,relative orders,Capital orders,Supply |
| 8 | Backlog,desired production,desired capital,capital adjustment,desired orders,relative orders,Capital orders,Capital orders Backlog,Backlog |
| 9 | Backlog,desired production,desired capital,capital adjustment,desired orders,relative orders,Capital orders,Supply |

| | |
|----|---|
| 10 | Backlog,desired supply line,supply adjustment,desired orders,relative orders,Capital orders,Capital orders Backlog,Backlog |
| 11 | Backlog,desired supply line,supply adjustment,desired orders,relative orders,Capital orders,Supply |
| 12 | Capital,capacity,capacity utilization,Production,Acquisitions,Capital |
| 13 | Capital,capacity,capacity utilization,Production,Acquisitions,Supply |
| 14 | Capital,capacity,capacity utilization,Production,Backlog |
| 15 | Capital,capacity,capacity utilization,Production,desired supply line,supply adjustment,desired orders,relative orders,Capital orders,Capital orders Backlog,Backlog |
| 16 | Capital,capacity,capacity utilization,Production,desired supply line,supply adjustment,desired orders,relative orders,Capital orders,Supply |
| 17 | Capital,capacity,Production,Acquisitions,Capital |
| 18 | Capital,capacity,Production,Acquisitions,Supply |
| 19 | Capital,capacity,Production,Backlog |
| 20 | Capital,capacity,Production,desired supply line,supply adjustment,desired orders,relative orders,Capital orders,Capital orders Backlog,Backlog |
| 21 | Capital,capacity,Production,desired supply line,supply adjustment,desired orders,relative orders,Capital orders,Supply |
| 22 | Capital,capital adjustment,desired orders,relative orders,Capital orders,Capital orders Backlog,Backlog |
| 23 | Capital,capital adjustment,desired orders,relative orders,Capital orders,Supply |
| 24 | Capital,Depreciation,Capital |
| 25 | Capital,Depreciation,Capital orders,Capital orders Backlog,Backlog |
| 26 | Capital,Depreciation,Capital orders,Supply |
| 27 | Capital,Depreciation,desired orders,relative orders,Capital orders,Capital orders Backlog,Backlog |
| 28 | Capital,Depreciation,desired orders,relative orders,Capital orders,Supply |
| 29 | Capital,Depreciation,desired supply line,supply adjustment,desired orders,relative orders,Capital orders,Capital orders Backlog,Backlog |
| 30 | Capital,Depreciation,desired supply line,supply adjustment,desired orders,relative orders,Capital orders,Supply |
| 31 | Capital,Depreciation,relative orders,Capital orders,Capital orders Backlog,Backlog |
| 32 | Capital,Depreciation,relative orders,Capital orders,Supply |
| 33 | Supply,Acquisitions,Capital |
| 34 | Supply,Acquisitions,Supply |
| 35 | Supply,supply adjustment,desired orders,relative orders,Capital orders,Capital orders Backlog,Backlog |
| 36 | Supply,supply adjustment,desired orders,relative orders,Capital orders,Supply |

Tabla 24. Pathways del modelo Long Wave (Herramienta)

A continuación se muestran los pathways dados en la literatura.

| Pathway no. | Variable sequence |
|-------------|---|
| b1b | Backlog, desired production, capacity utilization, Production, Backlog |
| b2b | Backlog, desired supply line, supply adjustment, desired orders, relative orders, Capital orders, Capital orders backlog, Backlog |
| b3b | Backlog, desired production, capacity utilization, Production, desired supply line, supply adjustment, desired orders, relative orders, Capital orders, Capital orders backlog, Backlog |
| b4b | Backlog, desired production, desired capital, capital adjustment, desired orders, relative orders, Capital orders, Capital orders backlog, Backlog |
| b1c | Backlog, Acquisitions, Capital |
| b2c | Backlog, desired production, capacity utilization, Production, Acquisitions, Capital |
| b1s | Backlog, Acquisitions, Supply |
| b2s | Backlog, desired production, capacity utilization, Production, Acquisitions, Supply |
| b3s | Backlog, desired production, capacity utilization, Production, desired supply line, supply adjustment, desired orders, relative orders, Capital orders, Supply |
| b4s | Backlog, desired production, desired capital, capital adjustment, desired orders, relative orders, Capital orders, Supply |
| b5s | Backlog, desired supply line, supply adjustment, desired orders, relative orders, Capital orders, Supply |

Tabla 25. Pathways del modelo Long Wave. Parte a.

Fuente: Guneralp B (2005)

| Pathway no. | Variable sequence |
|-------------|---|
| c1c | Capital, capacity, Production, Acquisitions, Capital |
| c2c | Capital, capacity, capacity utilization, Production, Acquisitions, Capital |
| c3c | Capital, Depreciation, Capital |
| c1s | Capital, capacity, Production, Acquisitions, Supply |
| c2s | Capital, capacity, capacity utilization, Production, Acquisitions, Supply |
| c3s | Capital, Depreciation, Capital orders, Supply |
| c4s | Capital, capital adjustment, desired orders, relative orders, Capital orders, Supply |
| c5s | Capital, Depreciation, desired orders, relative orders, Capital orders, Supply |
| c6s | Capital, Depreciation, desired supply line, supply adjustment, desired orders, relative orders, Capital orders, Supply |
| c7s | Capital, capacity, Production, desired supply line, supply adjustment, desired orders, relative orders, Capital orders, Supply |
| c8s | Capital, capacity, capacity utilization, Production, desired supply line, supply adjustment, desired orders, relative orders, Capital orders, Supply |
| c9s | Capital, Depreciation, relative orders, Capital orders, Supply |
| c1b | Capital, capacity, Production, Backlog |
| c2b | Capital, capacity, capacity utilization, Production, Backlog |
| c3b | Capital, Depreciation, Capital orders, Capital orders backlog, Backlog |
| c4b | Capital, capital adjustment, desired orders, relative orders, Capital orders, Capital orders backlog, Backlog |
| c5b | Capital, Depreciation, desired orders, relative orders, Capital orders, Capital orders backlog, Backlog |
| c6b | Capital, Depreciation, desired supply line, supply adjustment, desired orders, relative orders, Capital orders, Capital orders backlog, Backlog |
| c7b | Capital, capacity, Production, desired supply line, supply adjustment, desired orders, relative orders, Capital orders, Capital orders backlog, Backlog |
| c8b | Capital, capacity, capacity utilization, Production, desired supply line, supply adjustment, desired orders, relative orders, Capital orders, Capital orders backlog, Backlog |
| c9b | Capital, Depreciation, relative orders, Capital orders, Capital orders backlog, Backlog |

Tabla 26. Pathways del modelo Long Wave. Parte b.

Fuente: Guneralp B (2005)

| Pathway no. | Variable sequence |
|-------------|---|
| s1s | Supply, Acquisitions, Supply |
| s2s | Supply, supply adjustment, desired orders, relative orders, Capital orders, Supply |
| s1c | Supply, Acquisitions, Capital |
| s1b | Supply, supply adjustment, desired orders, relative orders, Capital orders, Capital orders backlog, Backlog |

Tabla 27. Pathways del modelo Long Wave. Parte c.

Fuente: Guneralp B (2005)

Validación: Cada uno de los pathways encontrados tiene coincidencia uno a uno con los dados en la literatura.

3. Bucles de realimentación en el SILS

Para el modelo Economic Long Wave se identifican 16 bucles en el SILS. Se presentan a continuación.

| Feedback loops in the Shortest Independent Loop Set | |
|--|---|
| <i>Loop no.</i> | <i>Variable sequence</i> |
| 1 | Supply,Acquisitions |
| 2 | Capital,Depreciation |
| 3 | Capital,Depreciation,Capital orders,Supply,Acquisitions |
| 4 | Capital,Depreciation,relative orders,Capital orders,Supply,Acquisitions |
| 5 | Supply,Acquisitions,Capital,Depreciation,desired orders,relative orders,Capital orders |
| 6 | Supply,supply adjustment,desired orders,relative orders,Capital orders |
| 7 | Capital,capital adjustment,desired orders,relative orders,Capital orders,Supply,Acquisitions |
| 8 | Capital,Depreciation,desired supply line,supply adjustment,desired orders,relative orders,Capital orders,Supply,Acquisitions |
| 9 | Capital,capacity,Production,Acquisitions |
| 10 | Supply,Acquisitions,Capital,capacity,Production,desired supply line,supply adjustment,desired orders,relative orders,Capital orders |
| 11 | Capital,capacity,Production,Backlog,Acquisitions |
| 12 | Capital,capacity,capacity utilization,Production,Acquisitions |
| 13 | Backlog,desired production,capacity utilization,Production |
| 14 | Capital,Depreciation,Capital orders,Capital orders Backlog,Backlog,Acquisitions |
| 15 | Backlog,desired supply line,supply adjustment,desired orders,relative orders,Capital orders,Capital orders Backlog |
| 16 | Backlog,desired production,desired capital,capital adjustment,desired orders,relative orders,Capital orders,Capital orders Backlog |

Tabla 28. Sils del modelo Long Wave (Herramienta)

La correspondencia de los bucles dados en la literatura con los encontrados en la herramienta es la siguiente:

| Literatura | Herramienta | Literaruta | Herramienta |
|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| Bucle 2 | Bucle 1 | Bucle 3 | Bucle 9 |
| Bucle 1 | Bucle 2 | Bucle 16 | Bucle 10 |
| Bucle 5 | Bucle 3 | Bucle 8 | Bucle 11 |
| Bucle 10 | Bucle 4 | Bucle 9 | Bucle 12 |
| Bucle 12 | Bucle 5 | Bucle 4 | Bucle 13 |
| Bucle 7 | Bucle 6 | Bucle 6 | Bucle 14 |
| Bucle 13 | Bucle 7 | Bucle 11 | Bucle 15 |
| Bucle 15 | Bucle 8 | Bucle 14 | Bucle 16 |

Tabla 29. Correspondencia de bucles, Literatura y herramienta

| Loop no. | Loop name | Variable sequence |
|----------|---|--|
| L1 | Capital decay | Capital, Depreciation |
| L2 | Supply line-1 st order control | Supply, Acquisitions |
| L3 | Economic growth | Production, Acquisitions, Capital, capacity |
| L4 | Production scheduling | Backlog, desired production, capacity utilization, Production |
| L5 | Capital expansion | Capital orders, Supply, Acquisitions, Capital, Depreciation |
| L6 | Backlog expansion | Capital orders, Capital orders backlog, Backlog, Acquisitions, Capital, Depreciation, |
| L7 | Supply line adjustment | Capital orders, Supply, supply adjustment, desired orders, relative orders |
| L8 | Order fulfillment | Backlog, Acquisitions, Capital, capacity, Production |
| L9 | Demand balancing | Acquisitions, Capital, capacity, capacity utilization, Production |
| L10 | Steady-state Capital | Depreciation, relative orders, Capital orders, Supply, Acquisitions, Capital |
| L11 | Hoarding | Capital orders backlog, Backlog, desired supply line, supply adjustment, desired orders, relative orders, Capital orders |
| L12 | Capital replenishment | Depreciation, desired orders, relative orders, Capital orders, Supply, Acquisitions, Capital |
| L13 | Capital adjustment | Capital, capital adjustment, desired orders, relative orders, Capital orders, Supply, Acquisitions |
| L14 | Capital Self-ordering | Capital orders backlog, Backlog, desired production, desired capital, capital adjustment, desired orders, relative orders, Capital orders |
| L15 | Steady-state Supply line | Depreciation, desired supply line, supply adjustment, desired orders, relative orders, Capital orders, Supply, Acquisitions, Capital |
| L16 | Supply line adjustment (via Production) | Production, desired supply line, supply adjustment, desired orders, relative orders, Capital orders, Supply, Acquisitions, Capital, capacity |

Tabla 30. Sils del modelo Long Wave

Fuente: Guneralp B (2005)

4. Formar la matriz de ganancia:

El modelo es no lineal de tercer orden, luego la matriz de ganancia será de 3×3 . A continuación se presenta la estructura de la matriz de ganancia.

| Structure of the Gain Matrix | | |
|---|---|--|
| $\partial \text{Backlog} / \partial \text{Backlog}$ | $\partial \text{Backlog} / \partial \text{Capital}$ | $\partial \text{Backlog} / \partial \text{Supply}$ |
| $\partial \text{Capital} / \partial \text{Backlog}$ | $\partial \text{Capital} / \partial \text{Capital}$ | $\partial \text{Capital} / \partial \text{Supply}$ |
| $\partial \text{Supply} / \partial \text{Backlog}$ | $\partial \text{Supply} / \partial \text{Capital}$ | $\partial \text{Supply} / \partial \text{Supply}$ |

Tabla 31. Estructura de la matriz de ganancia del modelo Long Wave (Herramienta)

La matriz de ganancia dada en la literatura difiere en el orden de las entradas, pero solo afecta el orden de los valores propios y no los resultados globales.

Tabla 32. Estructura de la matriz de ganancia del modelo Long Wave

Fuente: Guneralp B (2005)

Gain Matrix

54

| | | |
|---|--|--|
| 05))/((Capital/capital output ratio)*(capacity utilization fnc(((Backlog+(Backlog*0.005))/ normal delivery delay)/(Capital/capital output ratio)))))-Supply)/supply adjust time))/(Capital/avg lifetime of capital)))- ((Supply*((Capital/capital output ratio)*(capacity utilization fnc(((Backlog+(Backlog*0.005))/ normal delivery delay)/(Capital/capital output ratio)))))/(Backlog+(Backlog*0.00 5)))-((Capital/avg lifetime of capital)*(relative orders fnc(((Capital/avg lifetime of capital)+(((Backlog- (Backlog*0.005))/normal delivery delay)*capital output ratio)- Capital)/capital adjust time)+(((Capital/avg lifetime of capital)*(Backlog- (Backlog*0.005)))/(Capital/capital output ratio)*(capacity utilization fnc(((Backlog- (Backlog*0.005))/normal delivery delay)/(Capital/capital output ratio)))))-Supply)/supply adjust time))/(Capital/avg lifetime of capital)))- ((Supply*((Capital/capital output ratio)*(capacity utilization fnc(((Backlog- (Backlog*0.005))/normal delivery delay)/(Capital/capital output ratio)))))/(Backlog- (Backlog*0.005)))/(2* Backlog *0.005) | l adjust time)+((((Capital+(Capital*0.00 5))/avg lifetime of capital)*(Backlog/(((Capital+(Ca pital*0.005))/capital output ratio)*(capacity utilization fnc((Backlog/normal delivery delay)/((Capital+(Capital*0.005)) /capital output ratio))))))- Supply)/supply adjust time))/((Capital+(Capital*0.005)) /avg lifetime of capital)))- ((Supply*((Capital+(Capital*0.0 05))/capital output ratio)*(capacity utilization fnc((Backlog/normal delivery delay)/((Capital+(Capital*0.005)) /capital output ratio))))/Backlog))-((Capital- (Capital*0.005))/avg lifetime of capital)*(relative orders fnc(((Capital- (Capital*0.005))/avg lifetime of capital)+(((Backlog/normal delivery delay)*capital output ratio)-(Capital- (Capital*0.005)))/capital adjust time)+((((Capital- (Capital*0.005))/avg lifetime of capital)*(Backlog/(((Capital- (Capital*0.005))/capital output ratio)*(capacity utilization fnc((Backlog/normal delivery delay)/((Capital- (Capital*0.005))/capital output ratio))))))-Supply)/supply adjust time))/((Capital- (Capital*0.005))/avg lifetime of capital)))-((Supply*((Capital- (Capital*0.005))/capital output ratio)*(capacity utilization fnc((Backlog/normal delivery delay)/((Capital- (Capital*0.005))/capital output ratio))))/Backlog)))/(2* Capital *0.005) | apital output ratio)*(capacity utilization fnc((Backlog/normal delivery delay)/(Capital/capital output ratio)))))- (Supply+(Supply*0.005))/su pply adjust time))/(Capital/avg lifetime of capital)))- (((Supply+(Supply*0.005))* (Capital/capital output ratio)*(capacity utilization fnc((Backlog/normal delivery delay)/(Capital/capital output ratio))))/Backlog))- ((Capital/avg lifetime of capital)*(relative orders fnc(((Capital/avg lifetime of capital)+(((Backlog/normal delivery delay)*capital output ratio)-Capital)/capital adjust time)+(((Capital/avg lifetime of capital)*(Backlog/((Capital/c apital output ratio)*(capacity utilization fnc((Backlog/normal delivery delay)/(Capital/capital output ratio))))))-Supply- (Supply*0.005))/supply adjust time))/(Capital/avg lifetime of capital)))- (((Supply- (Supply*0.005))*((Capital/ca pital output ratio)*(capacity utilization fnc((Backlog/normal delivery delay)/(Capital/capital output ratio))))/Backlog)))/(2* Supply *0.005) |
|---|--|--|

Tabla 33. Matriz de ganancia del modelo Long Wave (Herramienta)

5. Simular el modelo y leer la matriz de ganancia, ganancias de los pathways y variables de flujos sobre el tiempo.

El comportamiento de la variable de interés es de oscilaciones sostenidas. El análisis es conducido para un periodo de 46 años, desde el año 136 hasta el año 182.

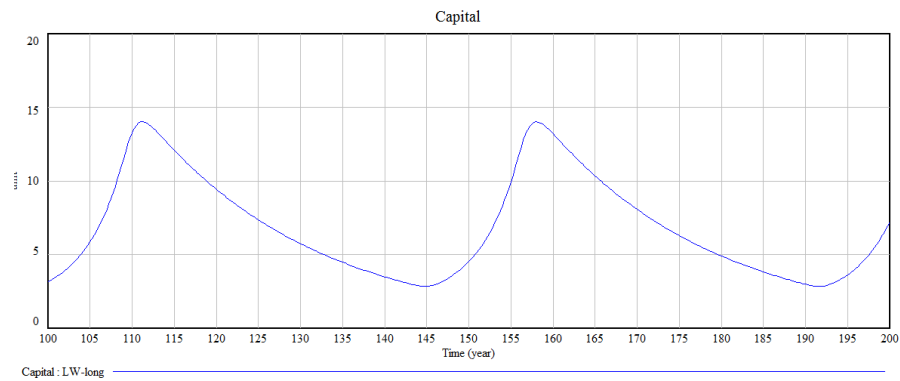


Figura 17. Comportamiento de la variable de interés, Capital

Para ver las ganancias de los pathways remítase al Apéndice B.5

6. Modos de comportamiento.

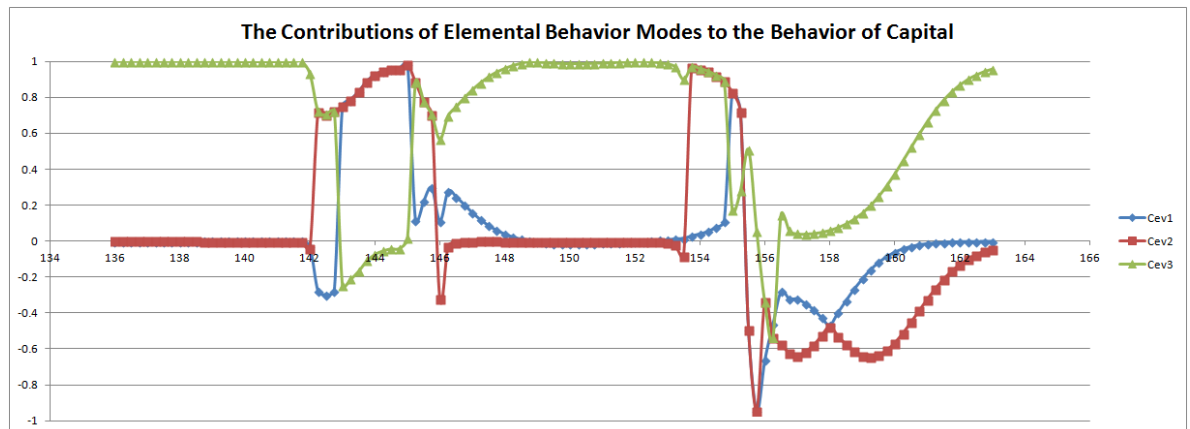


Figura 18. Contribuciones de los modos de comportamiento al comportamiento de Capital

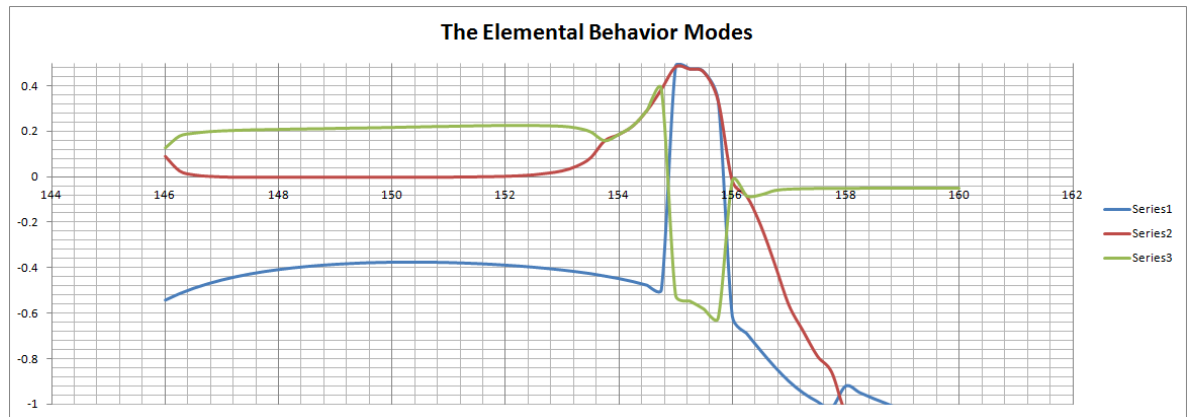


Figura 19. Modos de comportamientos en el modelo Economic Long Wave

7. Elasticidades de los valores propios con respecto a los enlaces compactos.

Las elasticidades de los valores propios con respecto a los enlaces compactos son halladas para cada valor del tiempo t . No se muestran por brevedad.

8. Elasticidades de los valores propios con respecto a cada enlace causal.

Refiérase al apéndice B.6 para ver los resultados de las elasticidades de los valores propios con respecto a cada enlace causal.

9. Matriz Cíclica directa

A continuación se muestra la matriz cíclica directa. Es posible verificar como en los modelos 1 y 2 que cada enlace causal esta contenido en los bucles que tienen entrada igual a 1.

| Directed Cycle Matrix | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | L1 | L2 | L3 | L4 | L5 | L6 | L7 | L8 | L9 | L10 | L11 | L12 | L13 | L14 | L15 | L16 |
| cl1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| cl2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| cl3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| cl4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| cl7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl9 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| cl10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| cl11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| cl12 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| cl13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl15 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| cl17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| cl18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| cl19 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| cl20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| cl21 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl22 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl23 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| cl24 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl26 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |

Tabla 34. Matriz cíclica directa del modelo Long Wave (Herramienta)

A continuación se muestra la matriz cíclica directa dada en la literatura. Nuevamente solo cambia el orden de selección de los bucles, pero los resultados globales no son afectados.

| Link no. | Variable sequence | Loop no. | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|---|----------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | L1 | L2 | L3 | L4 | L5 | L6 | L7 | L8 | L9 | L10 | L11 | L12 | L13 | L14 | L15 | L16 |
| cl1 | Backlog - Acquisitions | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl2 | Backlog - desired production | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| cl3 | Backlog - desired Supply line | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl4 | Capacity - capacity utilization | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl5 | capacity - Production | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| cl6 | capacity utilization - Production | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl7 | Capital - capacity | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| cl8 | Capital - capital adjustment | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| cl9 | Capital - Depreciation | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| cl10 | capital adjustment-desired orders | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| cl11 | Capital orders-Capital orders Backlog | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| cl12 | Depreciation - Capital orders | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl13 | Depreciation - desired orders | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl14 | Depreciation-desired Supply line | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| cl15 | Depreciation - relative orders | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl16 | desired capital-capital adjustment | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| cl17 | desired orders - relative orders | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| cl18 | desired production-capacity utilization | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl19 | Desired production-desired capital | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| cl20 | desired Supply line-Supply adjustment | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| cl21 | Production - Acquisitions | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl22 | Production - desired Supply line | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| cl23 | relative orders - Capital orders | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| cl24 | Supply - Acquisitions | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| cl25 | Supply - Supply adjustment | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl26 | Supply adjustment-desired orders | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |

Tabla 35. Enlaces causales y matriz cíclica directa del modelo Long Wave

Fuente: Guneralp B (2005)

10. Elasticidad general de los bucles

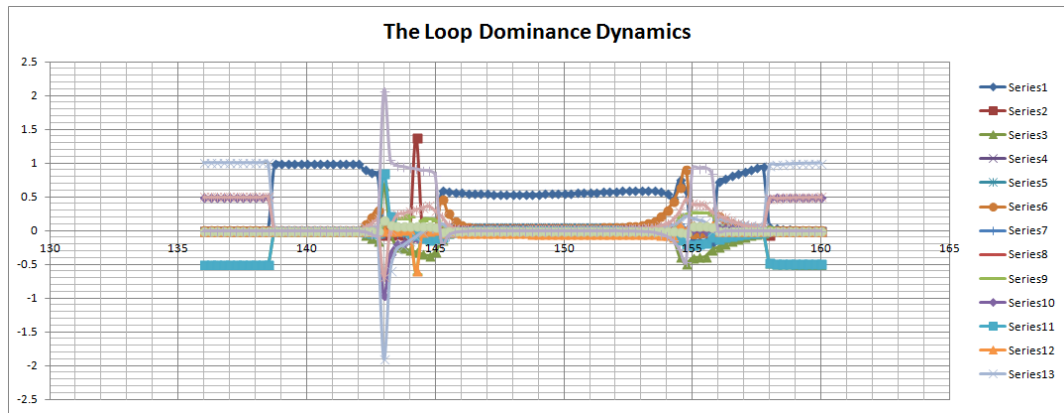


Figura 20. Elasticidad General de los bucles en el modelo Economic Long Wave

5 COMPARACIÓN ENTRE EL LEEA Y DISEÑO DE EXPERIMENTOS: CASO DE ESTUDIO MODELO DE CADENA DE SUMINISTRO

En esta sección presentaremos una comparación entre el LEEA y el análisis de modelos a través de diseño de experimentos. El modelo seleccionado para la comparación es un caso de estudio real del análisis de amplificación de demanda presente en una cadena de suministro, de una ‘empresa base’ junto con otras empresas asociadas en el aprovisionamiento, transformación y distribución de una familia de productos seleccionados. El modelo es presentado en la literatura por el Ingeniero Milton Soto y el Doctor René Amaya (Amaya, 2011; Soto, 2010). El modelo fue analizado en la literatura mediante una técnica de diseño de experimentos y se obtuvieron conclusiones. En la literatura se analizaron las variables Real Profit y Demand Amplification Material Delivery, ambas variables auxiliares que designan respectivamente, a la utilidad de la entidad y a la ampliación de demanda que se transmite a los proveedores en la forma de pedidos desalineados con la señal de demanda real. Además utilizando la técnica de diseño de experimentos es posible verificar el impacto de las interacciones de las variables. En el LEEA es necesario seleccionar una variable de nivel (univariado) y analizar el impacto de las diferentes variables pertenecientes al SILS sobre esta.

Real Profit está definido como: Total Sales-Total Manufacturing Cost, ambas variables de nivel. El LEEA puede utilizarse para analizar ambas variables de manera independiente. Las variables que impacten a Total Sales de manera significativa tendrán impacto sobre Real Profit. Las variables que impacten a Total Manufacturing Cost de manera significativa tendrán impacto sobre Real Profit.

Para analizar el impacto de las variables sobre Demand Amplification Material Delivery (DAMD) se debe seleccionar la variable de nivel Materials Inventory (Es posible verificar que esta es la variable de nivel que tiene mayor relación directa con DAMD). DAMD se relaciona directamente con Materials Delivery Rate y esta así mismo se relaciona con Materials Inventory.

5.1 Análisis para identificar las variables que impactan a la Amplificación de Demanda de la Cadena de Suministro.

Tengamos en cuenta que en el modelo analizado la variable "Demand Amplification Material Delivery" representa y mide la distorsión de la demanda a la que se encuentra expuesta la cadena de suministro del caso estudio citado. La presente sección ilustrará mediante el desarrollo de los diez pasos del algoritmo de Generalp el análisis de dicha variable mediante el LEEA.

1. Nodos y selección de la variable de estado de interés.

Se identificaron 186 nodos, a continuación se presentan los primeros 30 nodos encontrados. Remítase al apéndice B.7 para ver la lista completa. Se selecciona la variable de estado Materials Inventory

| <i>Node no.</i> | <i>Name</i> |
|-----------------|---|
| 1 | Actual Manufacturing Cost |
| 2 | Actual Profit |
| 3 | Adjustment for Material Inventory |
| 4 | Adjustment for WIP |
| 5 | Adjustment From Distributor Inventory |
| 6 | Adjustment From Distributor Units on Travel |
| 7 | Adjustment from Export Inventory |
| 8 | Adjustment from Local Inventory |
| 9 | Adjustment From Retailer Inventory |
| 10 | Backlog Export Orders |
| 11 | Backlog for Distributor Orders |
| 12 | Backlog Local Orders |
| 13 | Change Distributor Incoming Orders |
| 14 | Change in Fcasted Orders |
| 15 | Change Retailer Incoming Demand |
| 16 | Constrain 1 |
| 17 | Constrain 2 |
| 18 | Constrain 3 |
| 19 | Constrain 4 |
| 20 | Constrain 5 |
| 21 | Constrain 6 |
| 22 | "Demand Amplification Distributor - Manufacturer" |
| 23 | Demand Amplification Material Delivery |
| 24 | Demand Amplification Production Start Rate |
| 25 | "Demand Amplification Retailer - Distributor" |
| 26 | "Demand Amplification Retailer - Manufacturer" |
| 27 | Desired Distributor Incoming Units |

| | |
|----|--|
| 28 | Desired Distributor Inventory |
| 29 | Desired Distributor Inventory Coverage |
| 30 | Desired Distributor Shipment Rate |

Tabla 36. Primeros 30 nodos en el modelo de cadena de suministro.

2. Enlaces causales y pathways:

Se identificaron 232 Enlaces Causales, a continuación se presentan los primeros 30. Para ver la lista completa remítase al apéndice B.8.

| Link no. | Variable Sequence |
|----------|--|
| 1 | Adjustment for Material Inventory-Desired Material Delivery Rate |
| 2 | Adjustment for WIP-Desired Production Start Rate |
| 3 | Adjustment From Distributor Inventory-Desired Distributor Units |
| 4 | Adjustment From Distributor Units on Travel-Desired Units From Manufacturer |
| 5 | Adjustment from Export Inventory-Desired Export Production |
| 6 | Adjustment from Local Inventory-Desired Local Production |
| 7 | Adjustment From Retailer Inventory-Desired Units From Distributor |
| 8 | Backlog Export Orders-Desired Export Inventory |
| 9 | Backlog Export Orders-Desired Export Shipment Rate |
| 10 | Backlog Export Orders-Export Delivery Delay |
| 11 | Backlog for Distributor Orders-Desired Distributor Shipment Rate |
| 12 | Backlog for Distributor Orders-Distributor Delivery Delay |
| 13 | Backlog Local Orders-Desired Local Shipment Rate |
| 14 | Backlog Local Orders-Local Delivery Delay |
| 15 | Demand Amplification Material Delivery-Constrain 1 |
| 16 | Demand Amplification Production Start Rate-Constrain 2 |
| 17 | "Demand Amplification Retailer - Distributor"-Constrain 8 |
| 18 | "Demand Amplification Retailer - Manufacturer"-Constrain 9 |
| 19 | Desired Distributor Incoming Units-Adjustment From Distributor Units on Travel |
| 20 | Desired Distributor Inventory-Adjustment From Distributor Inventory |
| 21 | Desired Distributor Inventory Coverage-Desired Distributor Inventory |

| | |
|----|---|
| 22 | Desired Distributor Shipment Rate-Distributor Order Fulfillment Ratio |
| 23 | Desired Distributor Shipment Rate-Distributor Shipment Rate |
| 24 | Desired Distributor Units-Desired Distributor Incoming Units |
| 25 | Desired Export Inventory-Adjustment from Export Inventory |
| 26 | Desired Export Production-Desired WIP |
| 27 | Desired Export Production-Relation Between Desired Productions |
| 28 | Desired Export Shipment Rate-Export Order Fulfillment Ratio |
| 29 | Desired Export Shipment Rate-Export Shipment Rate |
| 30 | Desired Export Shipment Rate-Total Export Shipment Cost |

Tabla 37. Primeros 30 enlaces causales en el modelo de cadena de suministro.

El número total de pathways encontrados es 186, a continuación se presentan los 30 primeros. Para ver la lista completa remítase al apéndice B9.

| Pathways no. | Variable sequence |
|--------------|--|
| 1 | Backlog Export Orders,Desired Export Inventory,Adjustment from Export Inventory,Desired Export Production,Desired WIP,Adjustment for WIP,Desired Production Start Rate,Production Plan,Desired Material Usage Rate,Desired Material Inventory,Adjustment for Material Inventory,Desired Material Delivery Rate,Manufacturer Materials Quantity,Material Delivery Rate,Materials Cost Rate,Total Manufacturing Cost |
| 2 | Backlog Export Orders,Desired Export Inventory,Adjustment from Export Inventory,Desired Export Production,Desired WIP,Adjustment for WIP,Desired Production Start Rate,Production Plan,Desired Material Usage Rate,Desired Material Inventory,Adjustment for Material Inventory,Desired Material Delivery Rate,Manufacturer Materials Quantity,Material Delivery Rate,Materials Inventory |
| 3 | Backlog Export Orders,Desired Export Inventory,Adjustment from Export Inventory,Desired Export Production,Desired WIP,Adjustment for WIP,Desired Production Start Rate,Production Plan,Desired Material Usage Rate,Desired Material Inventory,Adjustment for Material Inventory,Desired Material Delivery Rate,Manufacturer Materials Quantity,Materials Cost,Maintenance Materials Unit Cost,Total Maintenance Materials Cost,Production and Maintenance Cost,Total |

| | |
|---|---|
| | Manufacturing Cost |
| 4 | Backlog Export Orders,Desired Export Inventory,Adjustment from Export Inventory,Desired Export Production,Desired WIP,Adjustment for WIP,Desired Production Start Rate,Production Plan,Desired Material Usage Rate,Desired Material Inventory,Adjustment for Material Inventory,Desired Material Delivery Rate,Manufacturer Materials Quantity,Materials Cost,Materials Cost Rate,Total Manufacturing Cost |
| 5 | Backlog Export Orders,Desired Export Inventory,Adjustment from Export Inventory,Desired Export Production,Desired WIP,Adjustment for WIP,Desired Production Start Rate,Production Plan,Desired Material Usage Rate,Desired Material Inventory,Adjustment for Material Inventory,Desired Material Delivery Rate,Manufacturer Materials Quantity,Payment Delay,Materials Delay Time,Material Delivery Rate,Materials Cost Rate,Total Manufacturing Cost |
| 6 | Backlog Export Orders,Desired Export Inventory,Adjustment from Export Inventory,Desired Export Production,Desired WIP,Adjustment for WIP,Desired Production Start Rate,Production Plan,Desired Material Usage Rate,Desired Material Inventory,Adjustment for Material Inventory,Desired Material Delivery Rate,Manufacturer Materials Quantity,Payment Delay,Materials Delay Time,Material Delivery Rate,Materials Inventory |
| 7 | Backlog Export Orders,Desired Export Inventory,Adjustment from Export Inventory,Desired Export Production,Desired WIP,Adjustment for WIP,Desired Production Start Rate,Production Plan,Desired Material Usage Rate,Material Usage Rate,Feasible Production Starts from Materials,Production Start Rate,Work in Process Inventory |
| 8 | Backlog Export Orders,Desired Export Inventory,Adjustment from Export Inventory,Desired Export Production,Desired WIP,Adjustment for WIP,Desired Production Start Rate,Production Plan,Desired Material Usage Rate,Material Usage Rate,Materials Inventory |
| 9 | Backlog Export Orders,Desired Export Inventory,Adjustment from Export Inventory,Desired Export Production,Desired WIP,Adjustment for WIP,Desired Production Start Rate,Production Plan,Desired Material Usage Rate,Material Usage Rate,Perceived Change Material Rate,Materials Average |

| | |
|----|---|
| 10 | Backlog Export Orders,Desired Export Inventory,Adjustment from Export Inventory,Desired Export Production,Desired WIP,Adjustment for WIP,Desired Production Start Rate,Production Plan,Desired Material Usage Rate,Material Usage Ratio,Material Usage Rate,Feasible Production Starts from Materials,Production Start Rate,Work in Process Inventory |
| 11 | Backlog Export Orders,Desired Export Inventory,Adjustment from Export Inventory,Desired Export Production,Desired WIP,Adjustment for WIP,Desired Production Start Rate,Production Plan,Desired Material Usage Rate,Material Usage Ratio,Material Usage Rate,Materials Inventory |
| 12 | Backlog Export Orders,Desired Export Inventory,Adjustment from Export Inventory,Desired Export Production,Desired WIP,Adjustment for WIP,Desired Production Start Rate,Production Plan,Desired Material Usage Rate,Material Usage Ratio,Material Usage Rate,Perceived Change Material Rate,Materials Average |
| 13 | Backlog Export Orders,Desired Export Inventory,Adjustment from Export Inventory,Desired Export Production,Relation Between Desired Productions,Production Rate For Export Orders,Export Inventory |
| 14 | Backlog Export Orders,Desired Export Inventory,Adjustment from Export Inventory,Desired Export Production,Relation Between Desired Productions,Production Rate For Export Orders,Total Production,Orders and Service Processing,Total Manufacturing Cost |
| 15 | Backlog Export Orders,Desired Export Inventory,Adjustment from Export Inventory,Desired Export Production,Relation Between Desired Productions,Production Rate For Export Orders,Work in Process Inventory |
| 16 | Backlog Export Orders,Desired Export Inventory,Adjustment from Export Inventory,Desired Export Production,Relation Between Desired Productions,Production Rate For Local Orders,Local Inventory |
| 17 | Backlog Export Orders,Desired Export Inventory,Adjustment from Export Inventory,Desired Export Production,Relation Between Desired Productions,Production Rate For Local Orders,Total Production,Orders and Service Processing,Total Manufacturing Cost |
| 18 | Backlog Export Orders,Desired Export Inventory,Adjustment from Export Inventory,Desired Export Production,Relation Between Desired |

| | |
|----|--|
| | Productions,Production Rate For Local Orders,Work in Process Inventory |
| 19 | Backlog Export Orders,Desired Export Shipment Rate,Export Order Fulfillment Ratio,Export Shipment Rate,Export Inventory |
| 20 | Backlog Export Orders,Desired Export Shipment Rate,Export Order Fulfillment Ratio,Export Shipment Rate,Export Price,Total Cash Rate,Total Sales |
| 21 | Backlog Export Orders,Desired Export Shipment Rate,Export Order Fulfillment Ratio,Export Shipment Rate,Order Export Fulfillment Rate,Backlog Export Orders |
| 22 | Backlog Export Orders,Desired Export Shipment Rate,Export Order Fulfillment Ratio,Export Shipment Rate,Order Export Fulfillment Rate,Export Delivery Delay,Fraction Export Shipment Rate,Miss Export Shipment Cost,Total Export Shipment Cost,Production and Maintenance Cost,Total Manufacturing Cost |
| 23 | Backlog Export Orders,Desired Export Shipment Rate,Export Order Fulfillment Ratio,Export Shipment Rate,Total Cash Rate,Total Sales |
| 24 | Backlog Export Orders,Desired Export Shipment Rate,Export Order Fulfillment Ratio,Export Shipment Rate,Total Export Shipment Cost,Production and Maintenance Cost,Total Manufacturing Cost |
| 25 | Backlog Export Orders,Desired Export Shipment Rate,Export Shipment Rate,Export Inventory |
| 26 | Backlog Export Orders,Desired Export Shipment Rate,Export Shipment Rate,Export Price,Total Cash Rate,Total Sales |
| 27 | Backlog Export Orders,Desired Export Shipment Rate,Export Shipment Rate,Order Export Fulfillment Rate,Backlog Export Orders |
| 28 | Backlog Export Orders,Desired Export Shipment Rate,Export Shipment Rate,Order Export Fulfillment Rate,Export Delivery Delay,Fraction Export Shipment Rate,Miss Export Shipment Cost,Total Export Shipment Cost,Production and Maintenance Cost,Total Manufacturing Cost |
| 29 | Backlog Export Orders,Desired Export Shipment Rate,Export Shipment Rate,Total Cash Rate,Total Sales |
| 30 | Backlog Export Orders,Desired Export Shipment Rate,Export Shipment Rate,Total Export Shipment Cost,Production and Maintenance Cost,Total Manufacturing Cost |

Tabla 38. Primeros 30 pathways en el modelo de cadena de suministro.

3. Bucles de realimentación en el SILS:

El software identificó 2 particiones de ciclo. Cada partición de ciclo tiene asociado un conjunto de enlaces causales, SILS, Matriz directa y elasticidades. A continuación se presentan los SILS para cada partición de ciclo.

Partición de ciclo 1:

| Loop no. | Variable sequence |
|----------|---|
| 1 | Distributor Forecast,Change Distributor Incoming Orders |
| 2 | Local Forecast,Change in Fcasted Orders |
| 3 | Materials Average,Perceived Change Material Rate |
| 4 | Distributor Units On Travel,Distributor Maximum Units Rate,Distributor Units Rate |
| 5 | Work in Process Inventory,Maximun Production Rate,Production Rate For Export Orders |
| 6 | Work in Process Inventory,Maximun Production Rate,Production Rate For Local Orders |
| 7 | Backlog Export Orders,Desired Export Shipment Rate,Export Shipment Rate,Order Export Fulfillment Rate |
| 8 | Backlog Export Orders,Desired Export Shipment Rate,Export Order Fulfillment Ratio,Export Shipment Rate,Order Export Fulfillment Rate |
| 9 | Export Inventory,Maximum Export Shipment Rate,Export Order Fulfillment Ratio,Export Shipment Rate |
| 10 | Backlog for Distributor Orders,Desired Distributor Shipment Rate,Distributor Shipment Rate,Distributor Fulfillment Rate |
| 11 | Backlog for Distributor Orders,Desired Distributor Shipment Rate,Distributor Order Fulfillment Ratio,Distributor Shipment Rate,Distributor Fulfillment Rate |
| 12 | Distributor Inventory,Distributor Maximum Shipment Rate,Distributor Order Fulfillment Ratio,Distributor Shipment Rate |
| 13 | Backlog Local Orders,Desired Local Shipment Rate,Local Shipment Rate,Order Local Fulfillment Rate |
| 14 | Backlog Local Orders,Desired Local Shipment Rate,Local Order Fulfillment Ratio,Local Shipment Rate,Order Local Fulfillment Rate |
| 15 | Local Inventory,Maximum Local Shipment Rate,Local Order Fulfillment Ratio,Local Shipment Rate |
| 16 | Materials Inventory,Maximum Material Usage Rate,Material Usage Ratio,Material Usage Rate |
| 17 | Retailer Backlog for Orders,Retailer Order Fulfillment Ratio,Retailer Shipment |

| | |
|----|--|
| | Rate,Retailer Fulfillment Rate |
| 18 | Retailer Inventory,Retailer Maximum Shipment Rate,Retailer Order Fulfillment Ratio,Retailer Shipment Rate |
| 19 | Materials Inventory,Maximum Material Usage Rate,Required Material,Manufacturer Materials Quantity,Material Delivery Rate |
| 20 | Materials Inventory,Maximum Material Usage Rate,Material Usage Ratio,Material Usage Rate,Perceived Change Material Rate,Materials Average,Required Material,Manufacturer Materials Quantity,Material Delivery Rate |
| 21 | Materials Inventory,Adjustment for Material Inventory,Desired Material Delivery Rate,Manufacturer Materials Quantity,Material Delivery Rate |
| 22 | Materials Inventory,Adjustment for Material Inventory,Desired Material Delivery Rate,Manufacturer Materials Quantity,Payment Delay,Materials Delay Time,Material Delivery Rate |
| 23 | Export Inventory,Adjustment from Export Inventory,Desired Export Production,Relation Between Desired Productions,Production Rate For Export Orders |
| 24 | Work in Process Inventory,Maximum Production Rate,Production Rate For Export Orders,Export Inventory,Adjustment from Export Inventory,Desired Export Production,Relation Between Desired Productions,Production Rate For Local Orders |
| 25 | Export Inventory,Maximum Export Shipment Rate,Export Order Fulfillment Ratio,Export Shipment Rate,Order Export Fulfillment Rate,Backlog Export Orders,Desired Export Inventory,Adjustment from Export Inventory,Desired Export Production,Relation Between Desired Productions,Production Rate For Export Orders |
| 26 | Local Inventory,Adjustment from Local Inventory,Desired Local Production,Relation Between Desired Productions,Production Rate For Local Orders |
| 27 | Backlog Local Orders,Desired Local Shipment Rate,Local Shipment Rate,Order Local Fulfillment Rate,Incoming Units From Manufacturer,Distributor Units On Travel,Adjustment From Distributor Units on Travel,Desired Units From Manufacturer,Incoming Local Orders,Order Local Rate |
| 28 | Local Forecast,Desired Local Inventory,Adjustment from Local Inventory,Desired Local Production,Relation Between Desired Productions,Production Rate For Local Orders,Local Inventory,Maximum Local Shipment Rate,Local Order Fulfillment Ratio,Local Shipment Rate,Order Local Fulfillment Rate,Incoming Units From |

| | |
|----|---|
| | Manufacturer,Distributor Units On Travel,Adjustment From Distributor Units on Travel,Desired Units From Manufacturer,Incoming Local Orders,Change in Fcasted Orders |
| 29 | Backlog Local Orders,Desired Local Shipment Rate,Local Shipment Rate,Order Local Fulfillment Rate,Incoming Units From Manufacturer,Distributor Units On Travel,Distributor Maximum Units Rate,Distributor Units Rate,Distributor Inventory,Adjustment From Distributor Inventory,Desired Distributor Units,Desired Distributor Incoming Units,Adjustment From Distributor Units on Travel,Desired Units From Manufacturer,Incoming Local Orders,Order Local Rate |
| 30 | Backlog for Distributor Orders,Desired Distributor Shipment Rate,Distributor Shipment Rate,Distributor Fulfillment Rate,Incoming Units From Distributor,Retailer Inventory,Adjustment From Retailer Inventory,Desired Units From Distributor,Received Orders From Clients,Distributor Order Rate |
| 31 | Backlog Local Orders,Desired Local Shipment Rate,Local Shipment Rate,Order Local Fulfillment Rate,Incoming Units From Manufacturer,Distributor Units On Travel,Distributor Maximum Units Rate,Distributor Units Rate,Distributor Inventory,Distributor Maximum Shipment Rate,Distributor Order Fulfillment Ratio,Distributor Shipment Rate,Distributor Fulfillment Rate,Incoming Units From Distributor,Retailer Inventory,Adjustment From Retailer Inventory,Desired Units From Distributor,Received Orders From Clients,Change Distributor Incoming Orders,Distributor Forecast,Desired Distributor Inventory,Adjustment From Distributor Inventory,Desired Distributor Units,Desired Distributor Incoming Units,Adjustment From Distributor Units on Travel,Desired Units From Manufacturer,Incoming Local Orders,Order Local Rate |
| 32 | Work in Process Inventory,Adjustment for WIP,Desired Production Start Rate,Production Plan,Desired Material Usage Rate,Material Usage Rate,Feasible Production Starts from Materials,Production Start Rate |
| 33 | Work in Process Inventory,Adjustment for WIP,Desired Production Start Rate,Production Plan,Desired Material Usage Rate,Material Usage Ratio,Material Usage Rate,Feasible Production Starts from Materials,Production Start Rate |
| 34 | Work in Process Inventory,Maximun Production Rate,Production Rate For Export Orders,Export Inventory,Adjustment from Export Inventory,Desired Export |

| | |
|----|--|
| | Production,Desired WIP,Adjustment for WIP,Desired Production Start Rate,Production Plan,Desired Material Usage Rate,Material Usage Rate,Feasible Production Starts from Materials,Production Start Rate |
| 35 | Work in Process Inventory,Maximun Production Rate,Production Rate For Local Orders,Local Inventory,Adjustment from Local Inventory,Desired Local Production,Desired WIP,Adjustment for WIP,Desired Production Start Rate,Production Plan,Desired Material Usage Rate,Material Usage Rate,Feasible Production Starts from Materials,Production Start Rate |
| 36 | Materials Inventory,Maximum Material Usage Rate,Material Usage Ratio,Material Usage Rate,Feasible Production Starts from Materials,Production Start Rate,Work in Process Inventory,Adjustment for WIP,Desired Production Start Rate,Production Plan,Desired Material Usage Rate,Desired Material Inventory,Adjustment for Material Inventory,Desired Material Delivery Rate,Manufacturer Materials Quantity,Material Delivery Rate |

Tabla 39. SILS en la partición de ciclo 1 en el modelo de cadena de suministro.

Partición de ciclo 2:

| Loop no. | Variable sequence |
|----------|---|
| 1 | Retailer Forecast,Change Retailer Incoming Demand |

Tabla 40. SILS en la partición de ciclo 2 en el modelo de cadena de suministro.

4. Formar la matriz de ganancia:

El modelo es no lineal de orden diecisiete, luego la matriz de ganancia será de 17×17 . A continuación se presenta la primera fila transpuesta de la estructura de la matriz de ganancia.

| |
|--|
| $\partial \text{Backlog Export Orders} / \partial \text{Backlog Export Orders}$ |
| $\partial \text{Backlog Export Orders} / \partial \text{Backlog for Distributor Orders}$ |
| $\partial \text{Backlog Export Orders} / \partial \text{Backlog Local Orders}$ |
| $\partial \text{Backlog Export Orders} / \partial \text{Distributor Forecast}$ |
| $\partial \text{Backlog Export Orders} / \partial \text{Distributor Inventory}$ |
| $\partial \text{Backlog Export Orders} / \partial \text{Distributor Units On Travel}$ |
| $\partial \text{Backlog Export Orders} / \partial \text{Export Inventory}$ |
| $\partial \text{Backlog Export Orders} / \partial \text{Local Forecast}$ |
| $\partial \text{Backlog Export Orders} / \partial \text{Local Inventory}$ |
| $\partial \text{Backlog Export Orders} / \partial \text{Materials Average}$ |

| |
|---|
| $\partial \text{Backlog Export Orders} / \partial \text{Materials Inventory}$ |
| $\partial \text{Backlog Export Orders} / \partial \text{Retailer Backlog for Orders}$ |
| $\partial \text{Backlog Export Orders} / \partial \text{Retailer Forecast}$ |
| $\partial \text{Backlog Export Orders} / \partial \text{Retailer Inventory}$ |
| $\partial \text{Backlog Export Orders} / \partial \text{Total Manufacturing Cost}$ |
| $\partial \text{Backlog Export Orders} / \partial \text{Total Sales}$ |
| $\partial \text{Backlog Export Orders} / \partial \text{Work in Process Inventory}$ |

Tabla 41. Estructura de la matriz de ganancia en el modelo de cadena de suministro. Primera Fila Transpuesta

5. Simular el modelo y leer la matriz de ganancia

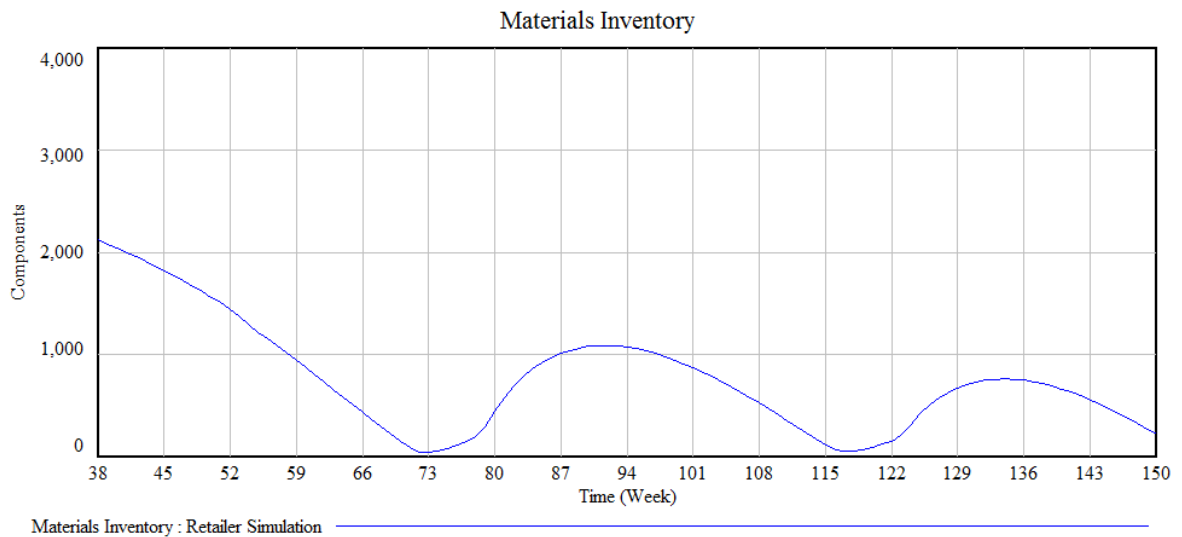


Figura 21. Simulación de la variable Materials Inventory

Los valores de la matriz de ganancia para cada partición de ciclo no se muestran por brevedad.

6. Modos de comportamiento.

A continuación se muestran los modos de comportamientos asociados a la partición de ciclo 1

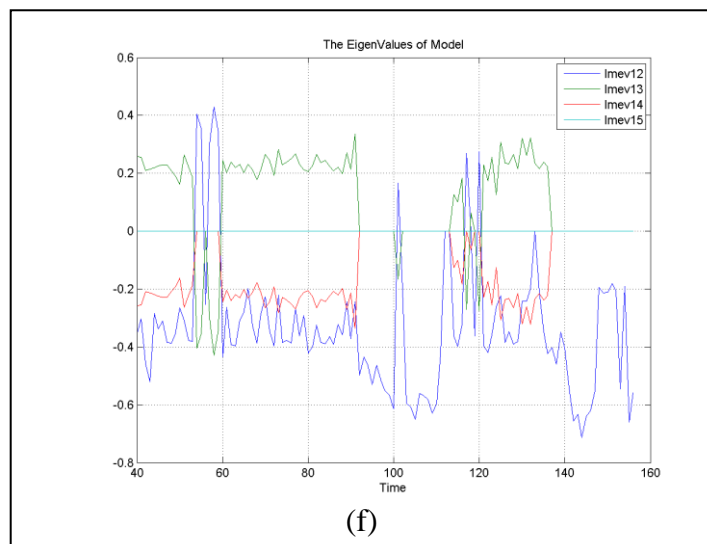
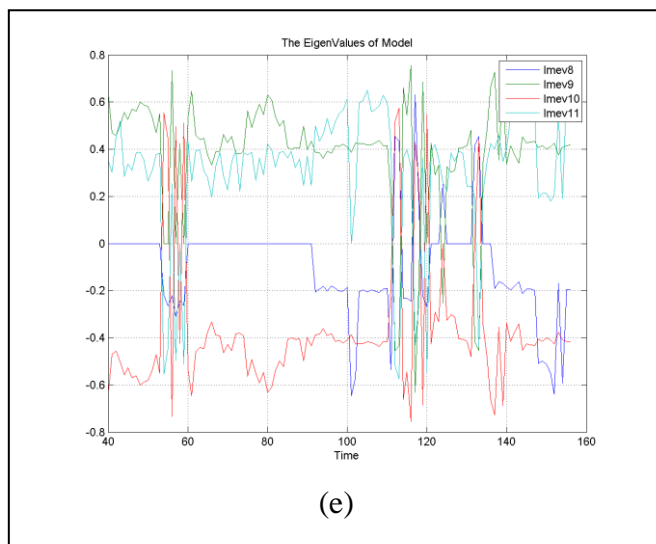
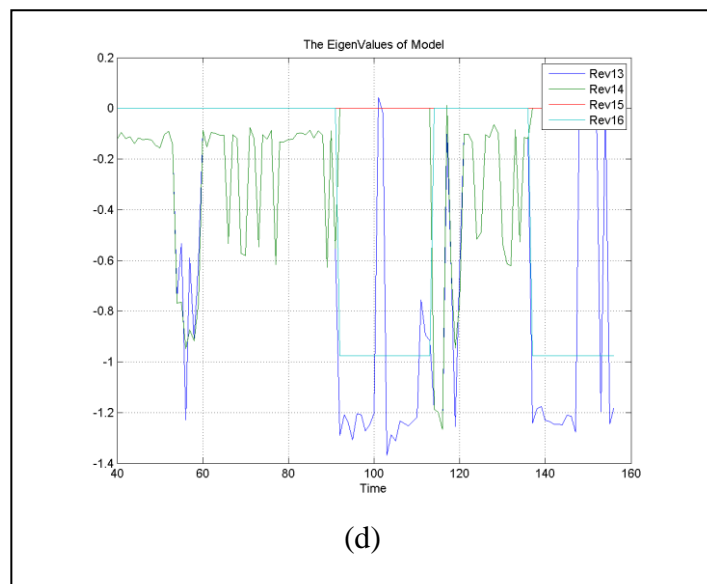
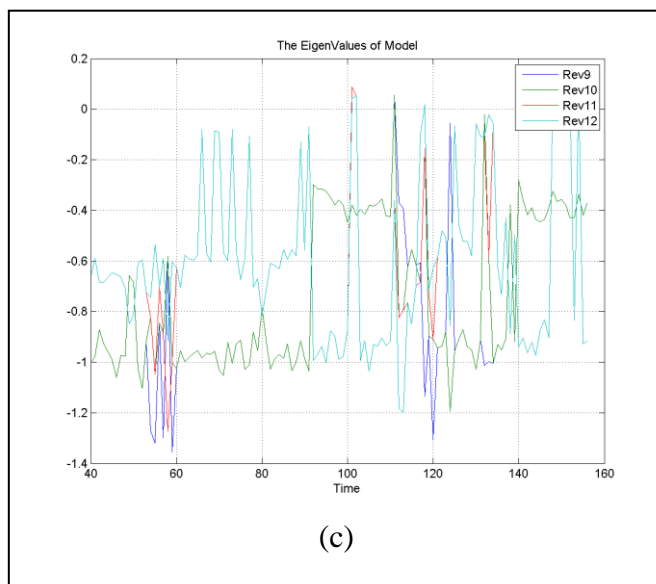
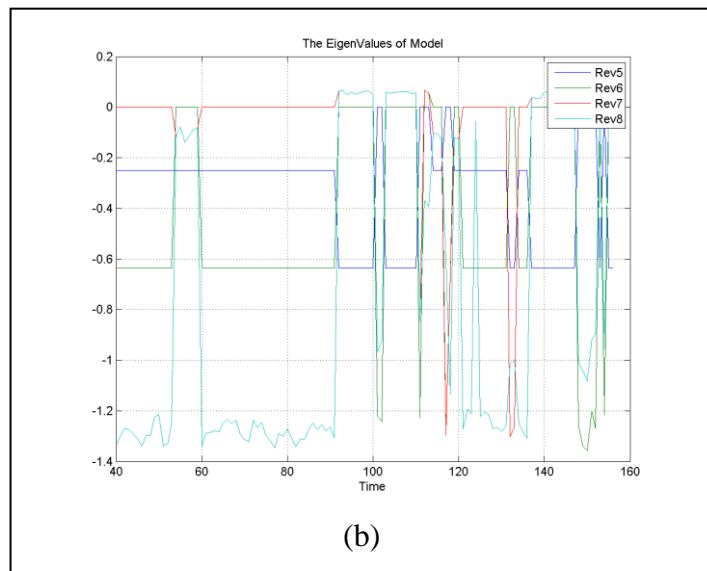
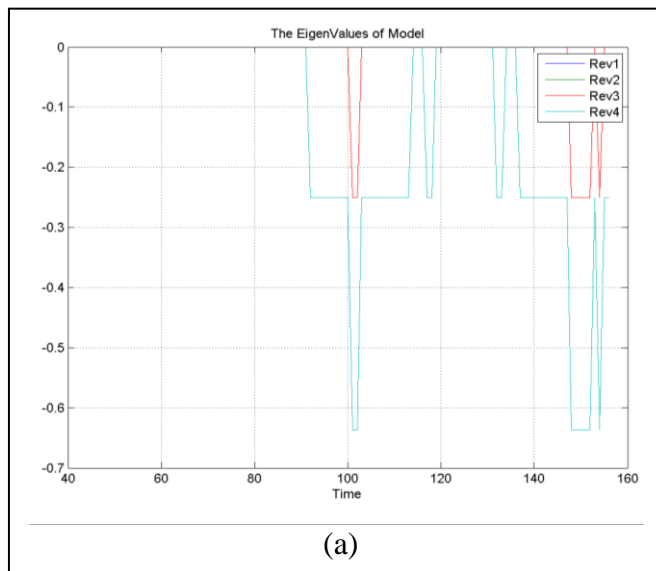


Figura 22. Modos de comportamiento a) Valores propios reales 1-4. b) Valores propios reales 5-8. c) Valores propios reales 9-12. d) Valores propios reales 13-16. e) Valores propios Imaginarios 6-11. f) Valores propios Imaginarios 12-15.

De las figuras anteriores podemos observar diferentes modos de comportamientos. Cada valor propio representa un modo de comportamiento que el sistema es capaz de generar. Los modos de comportamientos más representativos son el oscilatorio convergente y el oscilatorio divergente y el oscilatorio sostenido. Además observamos valores propios con tendencia creciente y decreciente.

7. Elasticidades de los valores propios con respecto a los enlaces compactos.

Las elasticidades de los valores propios con respecto a los enlaces compactos son halladas para cada valor del tiempo t . No se muestran por brevedad.

8. Elasticidades de los valores propios con respecto a cada enlace causal.

Refiérase al apéndice B.10 para ver los resultados de las elasticidades de los valores propios con respecto a cada enlace causal.

9. Matriz Cíclica directa

Refiérase al apéndice B.11 para ver la matriz de ciclo para la partición de ciclo 1

10. Elasticidad general de los bucles.

Partición de ciclo 1

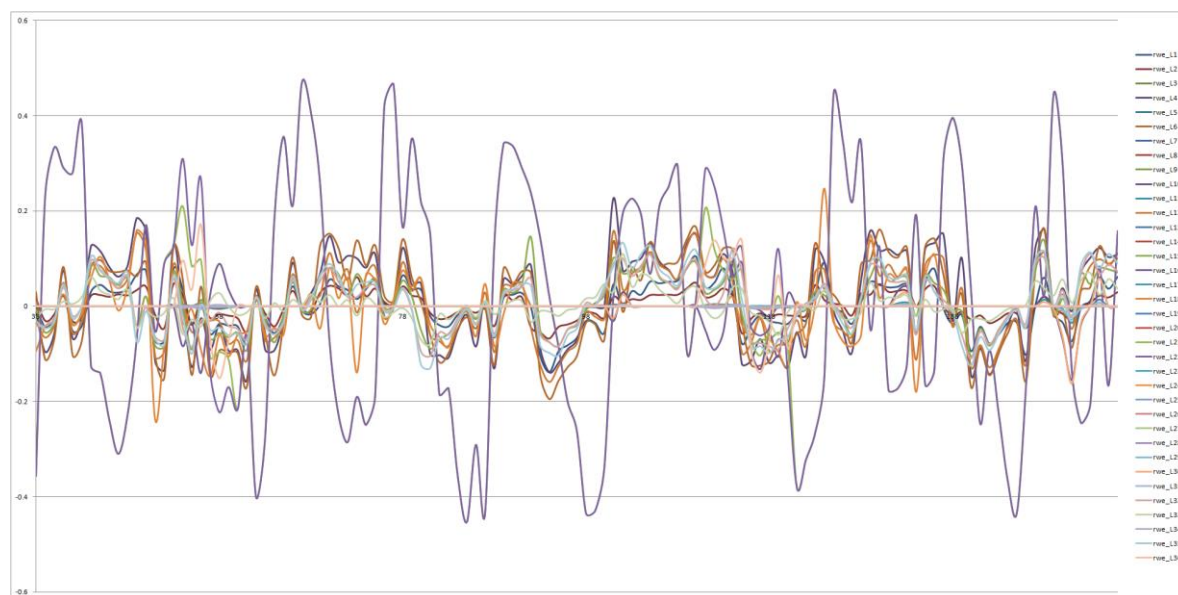


Figura 23. Elasticidad general de los bucles 1-36, Partición 1.

La gráfica anterior muestra la elasticidad general para los 36 loops del SILS. Los bucles que tengan elasticidades con valores mayores por etapas serán aquellos que tienen mayor dominancia. En la

gráfica se observa que los bucles con mayor dominancia son el bucle 21 y el bucle 22 (superpuesto al 21)

A continuación se muestran las respectivas definiciones para los bucles:

| Loop | Definición |
|------|--|
| 21 | Materials Inventory, Adjustment for Material Inventory, Desired Material Delivery Rate, Manufacturer Materials Quantity, Material Delivery Rate |
| 22 | Materials Inventory, Adjustment for Material Inventory, Desired Material Delivery Rate, Manufacturer Materials Quantity, Payment Delay, Materials Delay Time, Material Delivery Rate |

Tabla 42. Definición de los bucles dominantes en la partición 1

Los cambios que se realicen a las variables pertenecientes a los 2 loops tendrán un impacto fuerte sobre el sistema. Por otro lado, estamos interesados en identificar las constantes asociadas a las variables de los loops. Veamos las definiciones de cada variable para el Loop 21:

| Variable | Definición |
|-----------------------------------|---|
| Adjustment for Material Inventory | $(\text{Desired Material Inventory} - \text{Materials Inventory}) / \text{Materials Inventory Review Time}$ |
| Desired Material Delivery Rate | $\text{MAX}(\text{Adjustment for Material Inventory}, 0)$ |
| Manufacturer Materials Quantity | $\text{MAX}(\text{Desired Material Delivery Rate}, \text{Required Material})$ |
| Material Delivery Rate | $\text{DELAY1}(\text{Manufacturer Materials Quantity}, \text{Materials Delay Time})$ |

Tabla 43. Definición de las variables del bucle 21

De las definiciones anteriores se puede identificar la constante Materials Inventory Review Time.

Veamos las definiciones de cada variable para el Loop 22 (se incluyen las variables no incluidas en el loop anterior):

| Variable | Definición |
|----------------------|--|
| Payment Delay | $\text{Table For Payment}(\text{Manufacturer Materials Quantity} / \text{Financial Material Review}) * \text{Time To Pay}$ |
| Materials Delay Time | $\text{Payment Delay} + \text{Perceived Supplier Lead Time}$ |

Tabla 44. Definición de las variables del bucle 22

De las definiciones anteriores se pueden identificar las constantes Time To Pay y Perceived Supplier Lead Time.

Partición de ciclo 2

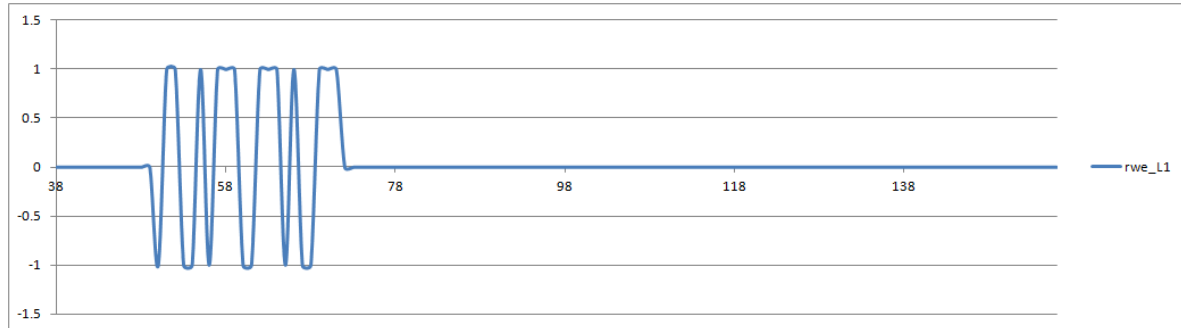


Figura 24. Elasticidad general del bucle 1 en la partición 2.

Esta partición de ciclo solo tiene un Loop, su definición es:

| Loop | Definición |
|------|--|
| 1 | Retailer Forecast, Change Retailer Incoming Demand |

Tabla 45. Definición del bucle 1 en la partición 2

Veamos las definiciones de las variables contenidas:

| Variable | Definición |
|---------------------------------|--|
| Retailer Forecast | Change Retailer Incoming Demand |
| Change Retailer Incoming Demand | $((\text{Incoming Demand}) - \text{Retailer Forecast}) / \text{Retailer Forecast Review Time}$ |

Tabla 46. Definición de las variables del bucle 1

De la anterior definición podemos identificar la constante Retailer Forecast Review Time. Del gráfico anterior vemos que el Loop tiene dominancia entre los tiempos 50 y 71. La dominancia aparece con el valor 1 y -1 en diferentes porciones porque es el único bucle de la partición de ciclo. Si observamos el sistema en todo el tiempo de la simulación la constante hallada solo tiene mayor impacto en una porción específica, luego no debe ser considerada como variable de mayor impacto sobre el sistema en todo el tiempo.

5.2 Análisis para identificar las variables que impactan a la Utilidad del Sistema de Suministro

Tengamos en cuenta que en el modelo analizado la variable "Real Profit" representa y mide la utilidad del sistema de suministro del caso estudio citado. En esquema similar a la anterior sección, la presente evaluará la sensibilidad de la utilidad del sistema de suministro mediante el desarrollo de los diez pasos del algoritmo de Guneralp para el análisis LEEA aplicado a las variables Total Sales y Total Manufacturing Cost, pues La utilidad del Sistema está definido como: $\text{Total Sales} - \text{Total Manufacturing Cost}$.

Los SILS del sistema son los mismos independientemente de la variable de nivel que se seleccione, pero si cambian los valores propios de la matriz de ganancia y las elasticidades.

Selección de la variable Total Sales.

A continuación se muestra la elasticidad general de los bucles para la selección de la variable de nivel Total Sales para cada una de las particiones.

Partición 1

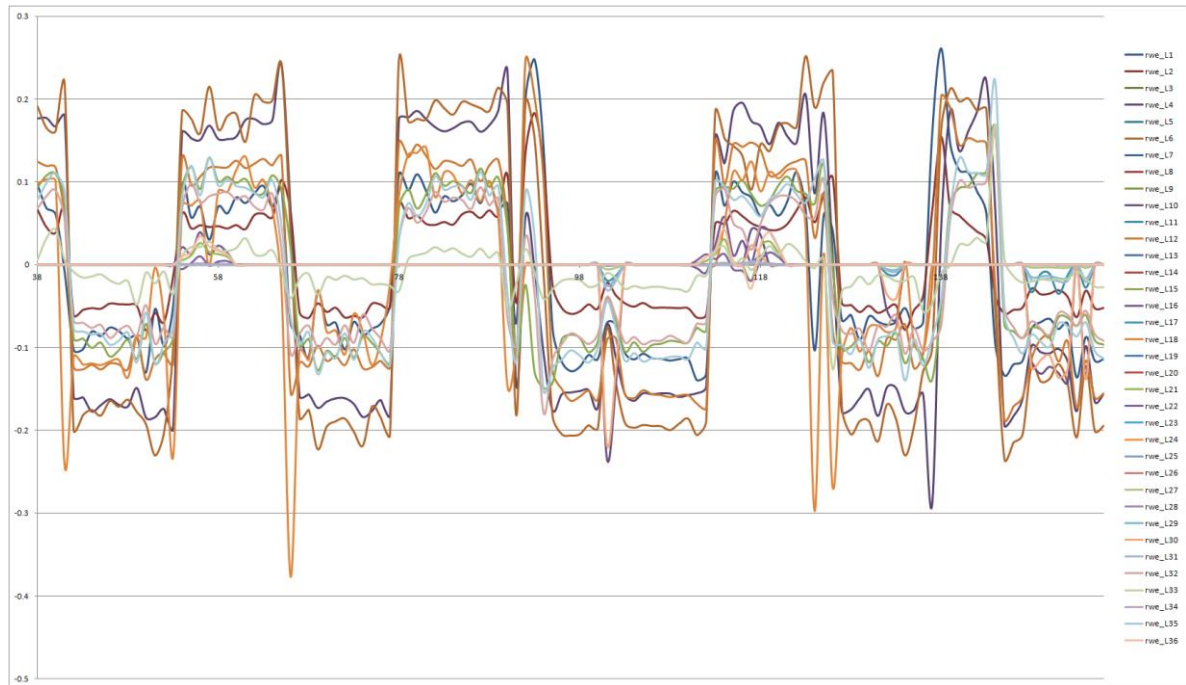


Figura 25. Elasticidad general de los bucles 1-36, Partición 1

De la anterior imagen se puede identificar que los bucles 18, 6 y 4 tienen las mayores dominancias en los diferentes instantes de tiempo. A continuación se presentan las definiciones para estos bucles:

| Loop | Definición |
|------|---|
| 18 | Retailer Inventory,Retailer Maximum Shipment Rate,Retailer Order Fulfillment Ratio,Retailer Shipment Rate |
| 6 | Work in Process Inventory,Maximun Production Rate,Production Rate For Local Orders |
| 4 | Distributor Units On Travel,Distributor Maximum Units Rate,Distributor Units Rate |

Tabla 47. Definición de los bucles dominantes en la Partición 1

A continuación se presentan las definiciones para cada variable incluida en el Loop 18.

| Variable | Definición |
|----------------------------------|---|
| Retailer Maximum Shipment Rate | Retailer Inventory/Retailer Minimum Order LeadTime |
| Retailer Order Fulfillment Ratio | IF THEN ELSE(Retailer Maximum Shipment Rate>=Retailer Backlog for Orders, Retailer Backlog for Orders, Retailer Maximum Shipment Rate) |
| Retailer Shipment Rate | Retailer Order Fulfillment Ratio |

Tabla 48. Definición de las variables del bucle 18

A continuación se presentan las definiciones para cada variable incluida en el Loop 6:

| Variable | Definición |
|----------------------------------|---|
| Maximun Production Rate | Work in Process Inventory/Manufacturing LeadTime |
| Production Rate For Local Orders | Maximun Production Rate* Relation Between Desired Productions |

Tabla 49. Definición de las variables del bucle 6

A continuación se presentan las definiciones para cada variable incluida en el Loop 4:

| Variable | Definición |
|--------------------------------|---|
| Distributor Maximum Units Rate | Distributor Units On Travel/Distributor Enlistment Time |
| Distributor Units Rate | Distributor Maximum Units Rate |

Tabla 50. Definición de las variables del bucle 4

De las anteriores definiciones se pueden identificar las constantes: Retailer Minimum Order LeadTime, Manufacturing LeadTime y Distributor Enlistment Time.

Partición 2

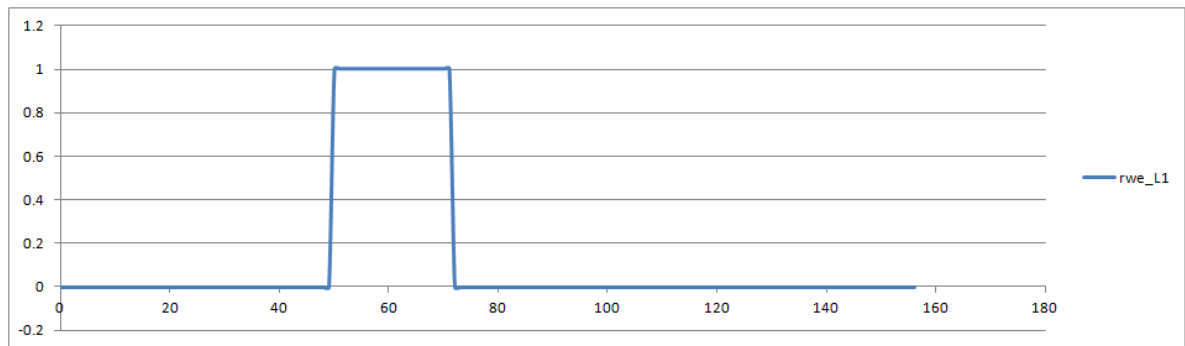


Figura 26. Elasticidad general del bucle 1. Partición 1

Esta partición de ciclo solo tiene un Loop, su definición es:

| Loop | Definición |
|------|---|
| 1 | Retailer Forecast,Change Retailer Incoming Demand |

Tabla 51. Definición del bucle 1 en la Partición 1

Veamos las definiciones de las variables contenidas:

| Variable | Definición |
|---------------------------------|--|
| Retailer Forecast | Change Retailer Incoming Demand |
| Change Retailer Incoming Demand | $((\text{Incoming Demand}) - \text{Retailer Forecast}) / \text{Retailer Forecast Review Time}$ |

Tabla 52. Definición de las variables del bucle 1

De la anterior definición podemos identificar la constante Retailer Forecast Review Time. Del gráfico anterior vemos que el Loop tiene dominancia entre los tiempos 50 y 71. La dominancia aparece con el valor 1 y 0 en diferentes porciones porque es el único bucle de la partición de ciclo. Si observamos el sistema en todo el tiempo de la simulación la constante hallada solo tiene mayor impacto en una porción específica, luego no debe ser considerada como variable de mayor impacto sobre el sistema en todo el tiempo.

De acuerdo a todo lo mencionando anteriormente las constantes de mayor impacto sobre Total Sales y por ende parcialmente Real Profit son: Retailer Minimum Order LeadTime, Manufacturing LeadTime y Distributor Enlistment Time.

Selección de la variable Total Manufacturing Cost.

A continuación se muestra la elasticidad general de los bucles para la selección de la variable de nivel Total Manufacturing Cost para cada una de las particiones.

Partición 1

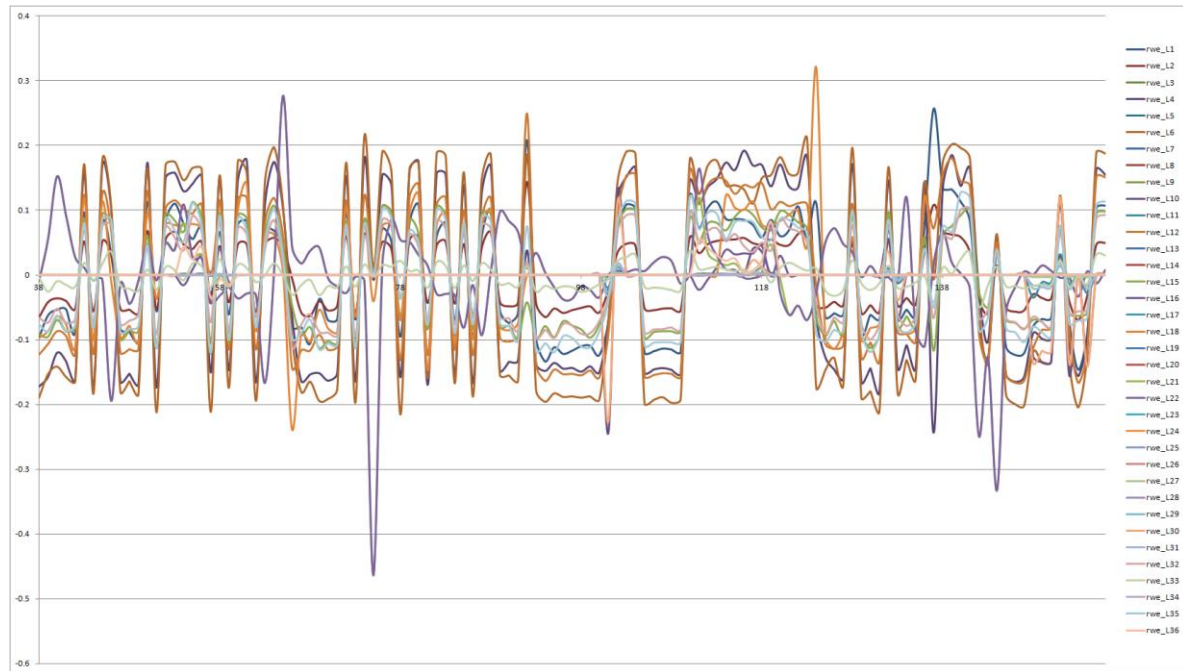


Figura 27. Elasticidad general de los bucles 1-36, Partición 1

Los Loops dominantes en las diferentes etapas son, el Loop 18, el Loop 22, el Loop 6 y el Loop 4. De los Loops 18, 4 y 6 se obtienen las constantes (De acuerdo a las definiciones en Total Sales) Retailer Minimum Order LeadTime, Manufacturing LeadTime y Distributor Enlistment Time. A continuación se presenta la definición del Loop 22:

| Loop | Definición |
|------|--|
| 22 | Materials Inventory,Adjustment for Material Inventory,Desired Material Delivery Rate,Manufacturer Materials Quantity,Payment Delay,Materials Delay Time,Material Delivery Rate |

Tabla 53. Definición del bucle 22 en la partición 1

A continuación se presentan las definiciones de las variables para el Loop 22.

| Variable | Definición |
|-----------------------------------|--|
| Adjustment for Material Inventory | $(\text{Desired Material Inventory} - \text{Materials Inventory}) / \text{Materials Inventory Review Time}$ |
| Desired Material Delivery Rate | $\text{MAX}(\text{Adjustment for Material Inventory}, 0)$ |
| Manufacturer Materials Quantity | $\text{MAX}(\text{Desired Material Delivery Rate}, \text{Required Material})$ |
| Material Delivery Rate | $\text{DELAY1}(\text{Manufacturer Materials Quantity}, \text{Materials Delay Time})$ |
| Payment Delay | $\text{Table For Payment}(\text{Manufacturer Materials Quantity} / \text{Financial Material Review}) * \text{Time To Pay}$ |
| Materials Delay Time | $\text{Payment Delay} + \text{Perceived Supplier Lead Time}$ |

Tabla 54. Definición de las variables del bucle 22

De la tabla se pueden identificar las constantes Materials Inventory Review Time, Time To Pay y Perceived Supplier Lead Time.

Partición 2

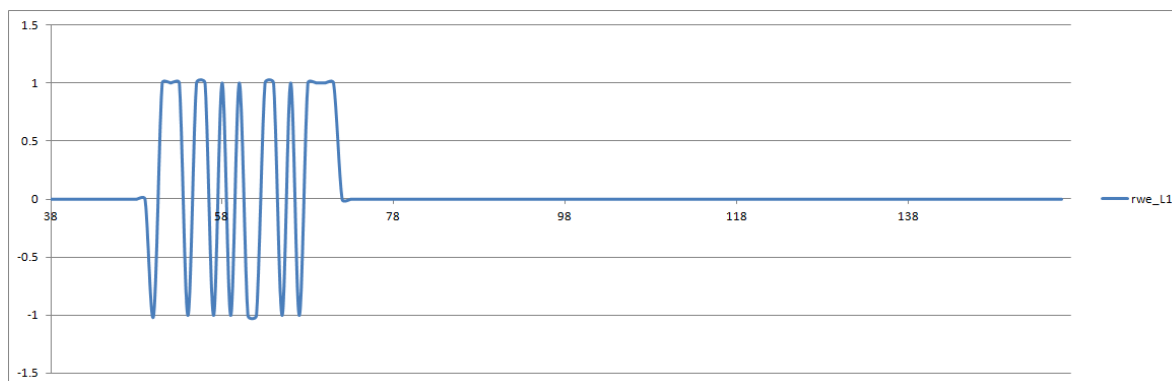


Figura 28. Elasticidad del único bucle en la partición 2

Si observamos el sistema en todo el tiempo de la simulación la constante hallada solo tiene mayor impacto en una porción específica, luego no debe ser considerada como variable de mayor impacto sobre el sistema en todo el tiempo.

5.3 Comparación del LEEA con la técnica de diseño de experimentos

A continuación presentamos dos comparaciones: una cualitativa, en la que analizamos en primera instancia la significancia de las variables y luego la metodología; y una cuantitativa en la que mostramos los valores objetivos obtenidos debido a los cambios en las variables.

5.3.1 Comparación cualitativa

Hemos analizado las variables de estado Materials Inventory, Total Sales y Total Manufacturing Cost para conocer las constantes implicadas que tienen mayor efecto en las variables Demand Amplification Material Delivery y Real Profit.

De la sección 5.1 obtuvimos que si se realizan cambios sobre las constantes Materials Inventory Review Time, Time To Pay y Perceived Supplier Lead Time, tendremos los mayores cambios sobre la variable Materials Inventory y por ende los mayores cambios en los modos de comportamiento de Demand Amplification Material Delivery.

En la literatura se planteó un diseño de experimentos con las variables: Export Inventory Review Time, Forecast Review Time, Local Inventory Review Time, Local Safety Stock Coverage, Materials Average Review Time, Maximum Capacity, Manufacturing LeadTime, Material Safety Stock Coverage, Perceived Supplier Lead Time, WIP Review Time; y se encontró que las variables significativas eran:

Perceived Supplier Lead Time, WIP Review Time, Manufacturing LeadTime-Material Safety Stock Coverage, Material Safety Stock Coverage- WIP Review Time. Es decir 2 variables significativas y 2 interacciones significativas. El LEEA aunque muestra las interacciones en las elasticidades totales, no puede identificar cuáles son estas interacciones. Como variable común se identificó la variable Perceived Supplier Lead Time, y como diferencias tenemos las interacciones (ya que el LEEA no las identifica) y la variable WIP Review Time (que según el LEEA no hace parte de un loop con mayor dominancia).

De la sección 5.2 obtuvimos que el total de variables constantes que son identificadas como potenciales modificables para efectos de optimización en la variable Total Manufacturing Cost son: Retailer Minimum Order LeadTime, Manufacturing LeadTime, Distributor Enlistment Time, Materials Inventory Review Time, Time To Pay y Perceived Supplier Lead Time. Estas variables además corresponden a aquellas que producen mayor impacto sobre la variable Real Profit (debido a que contienen las variables que impactan a Total Sales).

Nótese que el procedimiento aplicado en la literatura fue el siguiente: Correr un diseño de experimentos tomando como variable de respuesta DAMD. Luego tener en cuenta las variables significativas anteriores y correr un siguiente diseño considerando únicamente el indicador de

amplificación (las variables anteriores) para analizar el comportamiento de Real Profit y DAMD. Las variables consideradas en el diseño de experimentos fueron: Export Inventory Review Time, Forecast Review Time, Local Inventory Review Time, Local Safety Stock Coverage, Materials Average Review Time, Maximum Capacity, Manufacturing LeadTime, Material Safety Stock Coverage, Perceived Supplier Lead Time, WIP Review Time; y se encontró que las variables significativas son: 4 efectos principales (Local Inventory Review Time, Local Safety Stock Coverage, Manufacturing Lead Time y WIP Review Time) y 5 interacciones (AF, CD, DG, DJ, GJ), donde:

| | |
|---|------------------------------|
| A | Export Inventory review Time |
| C | Local Inventory Review Time |
| D | Local Safety Stock Coverage |
| F | Maximum Capacity |
| G | Manufacturing Lead Time |
| J | WIP Review Time |

Tabla 55. Definición de variables por el código asociado

A estas se les adiciona las variables Material Safety Stock Coverage y Perceived Supplier Lead Time que fueron identificadas en el análisis de DAMD.

El LEEA seleccionó como variables significativas de las anteriores a Manufacturing Lead Time y Perceived Supplier Lead Time. Las otras variables identificadas por el LEEA no fueron consideradas en la literatura como parte del conjunto inicial.

A este punto las variables encontradas por la literatura son diferentes a las halladas por el LEEA (excepto por algunas equivalentes) y esto es debido a que el LEEA no puede analizar de manera conjunta el impacto de las variables sobre 2 variables de respuesta.

Es importante ver que en la literatura se parte de un conjunto de variables resultantes de un análisis de sensibilidad que realiza Vensim, donde el software indica las variables que producen mayor cambios de valor a partir de una variable seleccionada; luego se corre el diseño de experimentos y se encuentran las variables significativas (del conjunto inicial). En este sentido es claro que el diseño de experimentos arrojará las variables o interacciones de variables significativas del conjunto inicial. Para el caso del LEEA, nuestro conjunto inicial son todas las variables del sistema, y a esto puede deberse las discrepancias con respecto al análisis realizado en la literatura.

A continuación se mencionan los aspectos más importantes en el análisis del modelo de cadena de suministro y se describen las principales características de cada método

| Concepto | LEEA | SS-Opt |
|---|--|---|
| Identificación de estructuras principales del sistema | El LEEA se basa en la teoría de grafos para hallar el SILS, que es el conjunto (más corto) de bucles independientes, y concentra su atención en estas estructuras para definir que bucles son dominantes en las diferentes etapas. | Es necesario el conocimiento del experto para realizar el filtro inicial de las variables que entran al diseño de experimentos. |
| Interacción de variables | Si bien, el LEEA recoge las interacciones de las variables es imposible identificar en el tiempo a que interacciones particulares obedece cierto comportamiento. | La definición de la técnica por diseño de experimentos permite fácilmente identificar los efectos significativos y las interacciones significativas a diferentes niveles. |
| Análisis conjunto de variables de respuestas | El LEEA permite realizar un análisis univariado, no permite el análisis de varias variables al tiempo. | Es posible analizar varios factores de respuesta al tiempo. |
| Análisis de cualquier variable particular del sistema | El LEEA está orientado al análisis de variables de Nivel, si se desea analizar alguna variable de tipo diferente es necesario identificar la variable o variables de nivel más cercanas, correr tantas veces como variables de nivel próximas tenga la variable y concluir. | Es posible analizar cualquier tipo de variable sin ningún inconveniente. |
| No linealidad | Debido a que el sistema es linealizado, cuando las no linealidades equivalen a movimientos periódicos sin convergencia (Caos) el LEEA no produce resultados correctos (Kampmann y Oliva, 2006). En cualquier otro caso, aunque haya no-linealidad el LEEA muestra resultados prometedores. | El sistema no necesita linealizarse, luego este problema no se da al utilizar diseño de experimentos |
| Metodología para la identificación | El procedimiento general es seleccionar una variable de nivel y revisar los modos de comportamientos y las elasticidades totales de | Para poder aplicar la técnica de diseño de experimentos se deben definir los límites |

| Concepto | LEEA | SS-Opt |
|-----------------------------|--|---|
| de variables significativas | los loops contenidos en el SILS. Luego se debe identificar por etapas los loops dominantes. Las variables incluidas en cada loop dominante son significativas (no es posible identificar cuál es más significativa que otra). El problema con esta aproximación es que cuando se encuentran loops “grandes” que son dominantes no se puede determinar de manera inmediata las variables potenciales que hacen que el Loop sea dominante. Cabe notar que para realizar el análisis global no es necesario hacer cambios al modelo (en la versión automatizada). | (niveles) para cada variable del sistema que el experto considere que impactan a una variable específica. Si el experto seleccionara todas las variables (porque todas están enlasadas) el análisis para modelos grandes resulta engorroso y no práctico. Por otro lado al definir el experto el filtro inicial puede errar y no incluir algunas variables que podrían afectar la variable de interés. Adicionalmente la fijación de los límites o niveles de las variables independientes afecta de manera potencial el que una variable resulte o no significativa. |

Tabla 56. Análisis comparativo entre el LEEA y Diseño de Experimentos

5.3.2 Comparación cuantitativa

El objetivo en la comparación cuantitativa es analizar los valores objetivos Real Profit y DAMD obtenidos en el tiempo al aplicar diseño de experimentos frente a los obtenidos luego de aplicar el LEEA. A continuación se muestran los valores obtenidos en la literatura que optimizan a Real Profit en base a la demanda y costos:

| Variables en Calibración | | | |
|--------------------------------------|---------|---------|--------------------|
| Variable | Min | Max | Ajuste Calibración |
| Export Inventory Review Time (Weeks) | 1 | 4 | 1.61 |
| Local Inventory Review Time (Weeks) | 1 | 4 | 1 |
| Local Safety Stock Coverage (Weeks) | 1 | 8 | 2.76 |
| Maximum Capacity (Units/Week) | 3000000 | 6000000 | 3400000 |

| | | | |
|--|---|----|------|
| Manufacturing LeadTime (Weeks) | 1 | 3 | 2.37 |
| Material Safety Stock Coverage (Weeks) | 1 | 8 | 1.42 |
| Perceived Supplier Lead Time (Weeks) | 1 | 16 | 1.02 |
| WIP Review Time (Weeks) | 1 | 4 | 1.95 |

Tabla 57. Valores calibrados para las variables de entrada significativas

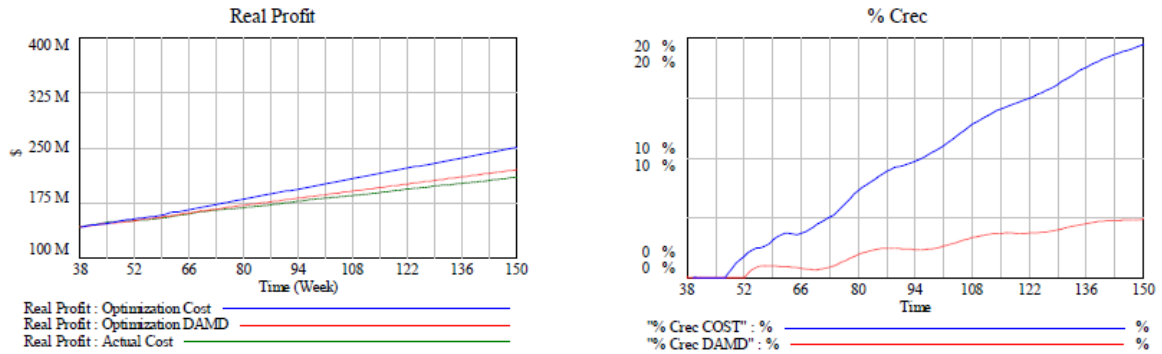


Figura 29. Comportamiento de Real Profit bajo la optimización de la demanda y los costos. (Soto, 2010)

De acuerdo a la figura 29, la mayor rentabilidad se obtiene en la optimización de costos con un 20% por encima del estado actual. El máximo valor obtenido para Real Profit es 257 Millones.

El LEEA sugiere que las siguientes variables sean modificadas:

DAMD: Materials Inventory Review Time, Time To Pay y Perceived Supplier Lead Time.

Real Profit: Retailer Minimum Order LeadTime, Manufacturing LeadTime, Distributor Enlistment Time, Materials Inventory Review Time, Time To Pay y Perceived Supplier Lead Time

Los valores del mínimo y máximo se tomaron de acuerdo a los valores promedios usados en la literatura (Todas las unidades están en Semanas)

| Variable | Valor Mínimo | Valor Máximo |
|---------------------------------|--------------|--------------|
| Materials Inventory Review Time | 1 | 6 |
| Time To Pay | 1 | 5 |
| Perceived Supplier Lead Time | 1 | 8 |
| Retailer Minimum Order LeadTime | 1 | 4 |
| Manufacturing LeadTime | 1 | 3 |
| Distributor Enlistment Time | 1 | 2 |

Tabla 58. Valores mínimo y máximo para las variables potenciales para optimizar

Se realizó una simulación en Excel, generando valores aleatorios entre el mínimo y el máximo para cada una de las variables. La aplicación se conecta con Vensim, modifica los valores de las variables y obtiene los valores para Real Profit y DAMD.

Los valores obtenidos fueron:

| Variable | Valor |
|---------------------------------|-------|
| Materials Inventory Review Time | 5.88 |
| Time To Pay | 4.44 |
| Perceived Supplier Lead Time | 4.94 |
| Retailer Minimum Order LeadTime | 2.6 |
| Manufacturing LeadTime | 1.32 |
| Distributor Enlistment Time | 1.49 |

Tabla 59. Valores óptimos encontrados por simulación para mayor rentabilidad

Bajo esta configuración se obtiene en Real Profit al tiempo 150, 233 millones 139 mil 933 pesos, y en DAMD 3.42

Otra configuración interesante en la que obtenemos una menor amplificación de la demanda por una menor rentabilidad es la siguiente:

| Variable | Valor |
|---------------------------------|-------|
| Materials Inventory Review Time | 3.98 |
| Time To Pay | 1.67 |
| Perceived Supplier Lead Time | 4.66 |
| Retailer Minimum Order LeadTime | 3.47 |
| Manufacturing LeadTime | 1.01 |
| Distributor Enlistment Time | 0.76 |

Tabla 60. Valores óptimos encontrados por simulación para menor Amplificación de demanda manteniendo la rentabilidad

Para esta configuración obtenemos en Real Profit 229 millones 623 mil 232 pesos, y en DAMD 2.51 que es un valor muy cercano al obtenido en la literatura

Los valores obtenidos para Real Profit al modificar las variables indicadas por el LEEA superan el valor de Real Profit para el costo actual. La Diferencia corresponde aproximadamente a 24 millones

(209.41 millones frente a 233 millones), una diferencia de aproximadamente un 11%. Aún así el valor de Real Profit no supera los 257 millones producto de la optimización por diseño de experimentos. Esto puede deberse a que en la metodología de diseño de experimentos se optimiza conjuntamente Costos y demanda.

De igual forma los resultados son muy satisfactorios y el LEEA promete ser un camino para el análisis y mejora de un sistema o cadena de suministro.

CONCLUSIONES Y FUTUROS TRABAJOS

La presente investigación estuvo enfocada en la implementación de una herramienta de software que permitiera aplicar la metodología LEEA (Loop Eigenvalue Elasticity Analysis) de manera automatizada a modelos de gran escala. Las herramientas desarrolladas hasta la fecha en sus diferentes enfoques han requerido que el usuario conozca en profundidad un modelo, derive manualmente expresiones, o limite el modelo con algunas funciones específicas para poder utilizar un software de derivación, etc.

El software desarrollado está en lenguaje C#, se conecta por DLL a un proyecto compilado de Matlab para cálculos intensivos computacionales y recibe de Vensim (por DLL) los valores de las simulaciones para el modelo.

La validación de la herramienta se dio con 3 modelos propuestos en la literatura, Cazador Presa, Población de levaduras y Longitud de Onda Económica. Para los dos primeros se hizo la validación estadística y a nivel de teoría de grafos y para el último se validó los resultados concernientes a teoría de grafos.

Las contribuciones y aportes de esta investigación están dadas en la medida que el LEEA es más accesible a la comunidad científica al poner a disposición el software en línea. El software desarrollado recibe un modelo de Vensim sin restricciones (se pueden utilizar todas las funciones y configuraciones, excepto que debe reemplazarse el origen de datos de Excel por Vdf), así no es necesario que el usuario modifique un modelo o elimine funciones por efectos de compatibilidad. En este sentido la mayor contribución de esta investigación corresponde a la única automatización completa del LEEA accesible al público. Finalmente se aplicó la metodología LEEA a un modelo de cadena de suministro de gran magnitud y se compararon los resultados obtenidos por este, frente a los obtenidos por una técnica de diseño de experimentos (comparación que no se había realizado antes en la literatura y permitió definir ventajas y desventajas en ambas aproximaciones). En esta última parte se definieron pros y contras para cada una de las aproximaciones. Las principales ventajas del LEEA se resumen en la identificación global de las estructuras dominantes sobre el modelo para los diferentes valores del tiempo, sin realizar cambios al modelo. La técnica de diseño de experimentos es más abierta y brinda una plataforma amplia de análisis pero es necesario que el experto modifique los valores del modelo y corra tantos diseños como sea necesario. En el análisis del modelo de cadena de suministro fue posible obtener una de las variables significativas para el caso de Demand Amplification Material Delivery (DAMD) y variables diferentes para Real Profit. La diferencia se puede verificar que se debe a la restricción dada en la literatura de partir de un conjunto de variables que el LEEA no considera de

mayor impacto frente a aquellas que el LEEA detecta. Por otro lado el LEEA no indica cuáles son las interacciones que tienen impacto significativo sobre una variable específica. El LEEA ha sido criticado porque las conclusiones que se pueden dar al final de aplicar la metodología son muy generales. Pero más bien la idea es utilizar el LEEA para identificar las estructuras de mayor influencia por etapas con sus diferentes valores de elasticidades y luego analizar detenidamente por diferentes técnicas estas estructuras.

Al realizar la comparación numérica entre el LEEA y la metodología de diseño de experimentos obtuvimos que si bien no logramos un 20% de incremento en rentabilidad, si obtuvimos una mejora de un 11% a partir de la modificación de las variables propuestas por la metodología implementada.

Es muy importante aclarar que la metodología seguida por nosotros si bien está validada presenta 2 inconvenientes:

- a) Se realiza una linealización: Cuando se tiene un modelo lineal, no hay problemas; aún cuando se tiene un modelo no lineal sin oscilaciones periódicas el LEEA es prometedor. Pero cuando tenemos un modelo no lineal caótico (no lineal con oscilaciones periódicas, modos de bloqueos e interacciones entre modos cíclicos) los resultados del LEEA no son buenos. En todo caso la linealización trae un poco de desventaja al LEEA.
- b) Derivadas aproximadas: para efectos de automatización, se han utilizado las derivadas numéricas con el fin de reemplazar las derivadas halladas con software matemático (parcialmente, con restricciones) o realizadas manualmente por el usuario. Pero esto trae como consecuencia una propagación de error debido al nivel de tolerancia que para algunas funciones específicas en el tiempo debería ser variable (y no constante), pero al tratar de introducir esto en los modelos se vuelven muy extensos y el software Vensim está limitado y no puede correrlos.

Si bien el primer inconveniente no se puede solucionar (a menos que se modifique la aproximación completa) el segundo inconveniente puede solucionarse al proponer un esquema de traducción general para realizar derivadas de manera dinámica para funciones no compatibles en Vensim. Esto es, seleccionar el total de funciones hasta ahora no compatibles por la mayoría de software de derivación y traducirlas en aquellas básicas que puedan ser interpretadas. El problema con esta aproximación es que dependerá mucho de la versión del software Vensim. Así la mejor propuesta será perfeccionar las derivadas aproximadas mediante un análisis dinámico de funciones utilizando valores variables de tolerancia en el tiempo.

Por otro lado se propone para futuros trabajos el análisis de vectores propios (EVA, Eigenvector Analysis) y descomposición dinámica de pesos (DDW, Dynamic Decomposition Weights

Analysis) que es una metodología que se ha estado analizando últimamente y cuyo interés está en considerar qué proporción de un eigenvalue o modo de comportamiento es expresado en una variable particular del sistema. En esta metodología se propone el análisis de la curvatura que corresponde a la segunda derivada en el tiempo de una variable x dada en el sistema linealizado. Finalmente se propone el análisis de modelos de gran escala utilizando la combinación de las metodologías diseño de experimentos y el LEEA. El LEEA se utilizaría para encontrar las estructuras más influyentes, y la técnica de diseño de experimentos se usaría para encontrar los valores óptimos de esas estructuras más influyentes.

GLOSARIO

Bucle geodésico: un bucle geodésico entre dos variables x y y consiste de una ruta más corta de x a y , y una ruta más corta de y a x

Elasticidad de un enlace causal: es la suma de las elasticidades de todos los bucles al que el enlace hace parte.

Elasticidad de un valor propio: Definida como $\varepsilon = \left(\frac{\partial \lambda}{\partial g}\right) \left(\frac{g}{\lambda}\right)$, es el cambio fraccional en el valor propio debido al cambio fraccional en algún parámetro g .

Enlaces causales: son los bloques estructurales para la construcción de los bucles de realimentación.

Matriz de accesibilidad: Es una matriz que permite identificar si desde un punto a se puede llegar (o acceder) a un punto b , esto es si existe por lo menos un camino para llegar de a hasta b .

Matriz de adyacencia: Es una matriz cuadrada que se utiliza para representar relaciones binarias, cada vez que exista una conexión a y b se debe marcar 1 en la matriz.

Pathways: son estructuras causales que enlazan una variable de estado consigo mismo o con otra. Un pathway pueden estar compuesto por uno o más vínculos causales y un vínculo causal puede estar en muchos pathways.

BIBLIOGRAFÍA

- Abdel-Gawad A, Abdel-Aleem B, Saleh M, Davidsen P. 2005. Identifying dominant behavior patterns, links and loops: automated eigenvalue analysis of system dynamics models. In Proceedings of the Int. System Dynamics Conference. System Dynamics Society: Boston.
- Amaya, R. A. (2011). A diagnostic framework for demand amplification problems in supply chains. Ph.D. dissertation, FIU Electronic Theses and Dissertations. Paper 410. Retrieved from <http://digitalcommons.fiu.edu/etd/410/>
- Aracil, J., & Gordillo, F. 1997. Dinámica de sistemas, Madrid: Alianza Editorial
- Balakrishnan VK. 1997. Graph Theory, Schaum's Outlines. McGraw-Hill: New York.
- Burns JR. 1977. Converting signed digraphs to Forrester schematics and converting Forrester schematics to differential equations. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics* **SMC-7**(10): 695–707.
- Burns JR, Ulgen OM. 1978. A sector approach to the formulation of system dynamics models. *International Journal of Systems Science* **9**(6): 649–680.
- Burns JR, Ulgen OM, Beights HW. 1979. An algorithm for converting signed digraphs to Forrester's schematics. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics* **SMC-9**(3): 115–124.
- Chen CT. 1970. Introduction to Linear System Theory. Holt, Rinnehart and Winston: New York.
- Dolado JJ, Torrealdea FJ. 1988. Formal manipulation of Forrester diagrams by graph grammars. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics* **18**(6): 981–996.
- Eberlein R. 1984. *Simplifying Dynamic Models by Retaining Selected Behavior Modes*. PhD Dissertation, MIT, Cambridge, MA.

- Ford D. 1999. A behavioral approach to feedback loop dominance analysis. *System Dynamics Review* 15(1): 3-36.
- Forrester JW. 1961. *Industrial Dynamics*. Productivity Press: Cambridge MA.
- Forrester JW. 1969. *Urban Dynamics*. Productivity Press: Cambridge, MA.
- Forrester JW. 1971. *World Dynamics*. Productivity Press: Boston.
- Forrester N. 1982. *A Dynamic Synthesis of Basic Macroeconomic Theory: Implications for Stabilization Policy Analysis*. PhD Dissertation, MIT, Cambridge, MA.
- Forrester N. 1983. Eigenvalue analysis of dominant feedback loops. In *Proceedings of the Int. System Dynamics Conference*. System Dynamics Society: Chestnut Hill, MA.
- Gonçalves P. 2003. Demand bubbles and phantom orders in supply chains. PhD Thesis. Sloan School of Management, Mass. Inst. of Technology: Cambridge, MA.
- Gonçalves P. 2006. Eigenvalue and Eigenvector Analysis of Dynamic Systems. Working Paper. University of Miami, School of Business Administration, Coral Gables, FL.
- Gonçalves P, Lerpattarapong C, Hines JH. 2000. Implementing formal model analysis. In *Proceedings of the Int. System Dynamics Conference*. System Dynamics Society: Bergen, Norway.
- Graham AK. 1977. Principles on the Relationship Between Structure and Behavior of Dynamic Systems. PhD Thesis. Sloan School of Management, Mass. Inst. of Technology: Cambridge, MA.
- Güneralp B. 2005. Progress in eigenvalue elasticity analysis as a coherent loop dominance analysis tool. In *Proceedings of the 2005 International System Dynamics Conference*, Boston, MA. System Dynamics Society: Albany, NY
- Güneralp B. 2006. Towards coherent loop dominance analysis: progress in eigenvalue elasticity analysis. *System Dynamics Review* 22 (3): 263–289.

- Kampmann, C. 1996. Feedback loop gains and system behavior. *Proceedings of the 1996 International System Dynamics Conference, Boston, MA*. System Dynamics Society, Albany, NY.
- Kampmann, C & Oliva R. 2005. Loop eigenvalue elasticity analysis: three case studies. In *Proceedings of the 2005 International System Dynamics Conference, Boston, MA*. System Dynamics Society: Albany, NY.
- Kampmann C. E. & Oliva R. 2006. Loop eigenvalue elasticity analysis: three case studies. *System Dynamics Review* 22(2): 141–162.
- Kampmann, C.E. & Oliva R. 2008. "Structural dominance analysis and theory building in System Dynamics." *Systems Research and Behavioral Science* 25(4):505-520.
- Kreyszig, E. 1993. *Advanced Engineering Mathematics*. New York, John Wiley & Sons, Inc.
- Leithold Louis. 1998. *El cálculo, 7ª ed.* Oxford University Press, México.
- Lorenz E. 1963. Deterministic nonperiod flow. *Journal of Atmospheric Sciences* 20: 130–141.
- Luenberger DG. 1979. *Introduction to Dynamic Systems: Theory, Models and Applications*. Wiley: New York.
- Mojtahedzadeh MT. 1996. A path taken: Computer assisted heuristics for understanding dynamic systems. PhD Thesis. Rockefeller College of Public Affairs and Policy, State University of New York at Albany: Albany, NY.
- Mojtahedzadeh MT, Andersen D, Richardson GP. 2004. Using digest to implement the pathway participation method for detecting influential system structure. *System Dynamics Review* 20 (1): 1–20.
- Ogata K. 1990. *Modern Control Engineering, 2nd ed.* Prentice Hall: Englewood Cliffs, NJ.

- Ogata K. 2004. *System Dynamics, 4th ed.* Prentice Hall: Upper Saddle River, NJ.
- Oliva R. 2004. Model structure analysis through graph theory: partition heuristics and feedback structure decomposition. *System Dynamics Review* 20(4): 313–336.
- Oliva R, Mojtahedzadeh M. 2004. Keep it simple: dominance assessment of short feedback loops. In *Proceedings of the Int. System Dynamics Conference*. System Dynamics Society: Oxford, UK.
- Richardson GP. (ed.) 1988. *System Dynamics Review: Special Issue on Chaos*. Vol. 4 (1–2).
- Richardson GP. 1984/1995. Loop polarity, loop dominance, and the concept of dominant polarity. *System Dynamics Review* 11 (1): 67–88.
- Saleh MM. 2002. The characterization of model behavior and its causal foundation. PhD dissertation, University of Bergen, Bergen, Norway.
- Saleh M, Davidsen P. 2001a. The origins of business cycles. In *Proceedings of the Int. System Dynamics Conference*. System Dynamics Society: Atlanta.
- Saleh M, Davidsen P. 2001b. The origins of behavior patterns. In *Proceedings of the Int. System Dynamics Conference*. System Dynamics Society: Atlanta.
- Saleh M, Oliva R, Davidsen P, Kampmann CE. 2006. Eigenvalue analysis of system dynamics models: another perspective. In *Proceedings of the Int. System Dynamics Conference*. Conference: Neijmegen, The Netherlands.
- Saleh M, Oliva R, Davidsen P, Kampmann CE. 2008. A comprehensive analytical approach for policy analysis of system dynamics models. Working Paper. Mays Business School, Texas A&M University.
- Sommerville, Ian. 2005. *Ingeniería del Software, 7ª ed.* Addison Wesley.

- Soto, M. (2010). *Calibración y Data Screening en Dinámica de Sistemas como Estrategia para la Cuantificación de Amplificación de Demanda en Cadenas de Suministro*. Tesis no publicada de Magíster en Ingeniería Industrial, Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia.
- Sterman JD. 1981. The Energy Transition and the Economy: A System Dynamics Approach. PhD Thesis. Sloan School of Management, Mass. Inst. of Technology: Cambridge, MA.
- Sterman JD. 1985. A behavioral model of the economic long wave. *Journal of Economic Behavior and Organization* 6: 17-53.
- Sterman, J. (2000). Business dynamics: Systems thinking and modeling for a complex world Irwin/McGraw-Hill.
- Warfield JN. 1989. *Societal Systems: Planning, Policy and Complexity*. Intersystems Publications: Salinas, CA.
- Weisstein, E. W. 1999. Concise Encyclopedia of Mathematics CD-ROM.
- Yie Pinedo, R. (2012). *Herramienta computacional para el análisis de sensibilidad de sistemas de simulación continua usando el método LEEA (loop eigenvalue elasticity analysis)* Tesis no publicada de Magíster en Ingeniería Industrial, Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia.

APENDICE

APENDICE A

A1. Modelo Predator-Prey

Ecuaciones del modelo Predator-Prey (En notación Vensim)

TIME STEP = 0.01 months; Integration method: Euler

Stocks

Predator = INTEG (predator birth-predator death, 1)

Prey = INTEG (prey birth-prey death, 2)

Flows

predator death = predator death rate*Predator

predator birth = predator interaction constant*Prey*Predator

prey birth = prey birth rate*Prey

prey death = prey interaction constant*Prey*Predator

Auxiliaries

predator interaction constant = 0.1

prey interaction constant = 0.2

predator death rate = 0.15

prey birth rate = 0.35

A2. Modelo Yeast Population

Ecuaciones del modelo Yeast Population (En notación Vensim)

TIME STEP = 0.01; Integration method: Euler

Stocks

Cells = INTEG (births-deaths, 1)

Alcohol = INTEG (alcoholgeneration, 0)

Flows

births = (Cells/divisiontime)*eff alc birth

deaths = (Cells/lifetime)*eff alc death

alcoholgeneration = Cells*alcoholpercellgeneration

Auxiliaries

eff alc birth = (-0.1*Alcohol)+1.1

eff alc death = EXP(Alcohol-11)

lifetime = 30

divisiontime = 15

alcoholpercellgeneration = 0.01

A3. Modelo Economic Long Wave

Ecuaciones del modelo Economic Long Wave (En notación Vensim)

TIME STEP = 0.25 years; Integration method: Euler

Stocks

Capital = INTEG (Acquisitions-Depreciation, (capital output ratio*avg lifetime of capital)
/(avg lifetime of capital-capital output ratio))

Backlog = INTEG (Capital orders Backlog+goods orders-Production, normal delivery delay)

Supply = INTEG (Capital orders-Acquisitions, (Backlog/Production)*Depreciation)

Flows

Capital orders = Depreciation*relative orders

Acquisitions = (Supply*Production)/Backlog

Depreciation = Capital/avg lifetime of capital

Capital orders Backlog = Capital orders

Production = capacity*capacity utilization

goods orders = 1

Auxiliaries

capacity = Capital/capital output ratio

capacity utilization = capacity utilization fnc(desired production/capacity)

capital adjustment = (desired capital-Capital)/capital adjust time

desired capital = desired production*capital output ratio

desired orders = Depreciation+capital adjustment+supply adjustment

desired production = Backlog/normal delivery delay

desired supply line = Depreciation*(Backlog/Production)

relative orders = relative orders fnc(desired orders/Depreciation)

supply adjustment = (desired supply line-Supply)/supply adjust time

capacity utilization fnc(

[(0,0)-(2,1.1)],

(0,0),(0.2,0.3),(0.4,0.6),(0.6,0.8),(0.8,0.9),(1,1),(1.2,1.03),(1.4,1.05),(1.6,1.07),(1.8,1.09),(2,1.1))

relative orders fnc(

[(-1,0)-(40,6)],

(-1,0),(-

0.5,0),(0,0.2),(0.5,0.5),(1,1),(1.5,1.5),(2,2),(2.5,2.5),(3,3),(3.5,3.5),(4,4),(4.5,4.4),(5,4.8),(5.5,5.2),
(6,5.5),(6.5,5.65),(7,5.7),(7.5,5.75),(8,5.8),(40,6))

avg lifetime of capital = 20

capital adjust time = 1.5

capital output ratio = 3

normal delivery delay = 1.5

supply adjust time = 1.5

A4. Modelo de Cadena de Suministro

Ecuaciones Del Modelo de Cadena de Suministro (En Notación Vensim)

Retailer Order Fulfillment Ratio=

IF THEN ELSE(Retailer Maximum Shipment Rate>=Retailer Backlog for Orders, Retailer Backlog for Orders\
, Retailer Maximum Shipment Rate)
~ Units/Week
~ |

Peak Value Manufacturer Incoming Local Orders= SIMULTANEOUS (
IF THEN ELSE(Time >= 38 :AND: Peak Value Manufacturer Incoming Local Orders <Incoming Local Orders\
Local Orders\
, Incoming Local Orders ,Peak Value Manufacturer Incoming Local Orders),
Normal Value Manufacturer Incoming Local Orders)
~ Units/Week
~ |

"Demand Amplification Retailer - Distributor"=
zIDZ(Increase Distributor Received Orders From Clients, Increase Retailer Incoming Demand\
)
~ Dimensionless
~ |

"Demand Amplification Retailer - Manufacturer"=
zIDZ(Increase Manufacturer Incoming Local Orders, Increase Retailer Incoming Demand)
~ Dimensionless
~ |

Increase Manufacturer Incoming Local Orders=
zIDZ((Peak Value Manufacturer Incoming Local Orders - Normal Value Manufacturer Incoming Local Orders\
Local Orders\
), Normal Value Manufacturer Incoming Local Orders)
~ Dimensionless
~ |

Normal Value Manufacturer Incoming Local Orders= SIMULTANEOUS (
IF THEN ELSE(Time = 38 :AND: Normal Value Manufacturer Incoming Local Orders = 0,
Incoming Local Orders\
, Normal Value Manufacturer Incoming Local Orders),
Normal Value Manufacturer Incoming Local Orders)
~ Units/Week
~ |

Peak Value Retailer Incoming Demand= SIMULTANEOUS (
IF THEN ELSE(Time >= 38 :AND: Peak Value Retailer Incoming Demand <Incoming Demand,\
Incoming Demand ,Peak Value Retailer Incoming Demand),
Normal Value Retailer Incoming Demand)
~ Units/Week
~ |

Normal Value Distributor Received Orders From Clients= SIMULTANEOUS (
IF THEN ELSE(Time = 38 :AND: Normal Value Distributor Received Orders From Clients =\

0, Received Orders From Clients , Normal Value Distributor Received Orders From Clients\
),
 Received Orders From Clients)
 ~ Units/Week
 ~ |

Increase Retailer Incoming Demand=
 zIDZ((Peak Value Retailer Incoming Demand - Normal Value Retailer Incoming Demand\
), Normal Value Retailer Incoming Demand)
 ~ Dimensionless
 ~ |

Normal Value Retailer Incoming Demand= SIMULTANEOUS (
 IF THEN ELSE(Time = 38 :AND: Normal Value Retailer Incoming Demand = 0, Incoming
 Demand\
 , Normal Value Retailer Incoming Demand),
 Incoming Demand)
 ~ Units/Week
 ~ |

Peak Value Distributor Orders From Clients= SIMULTANEOUS (
 IF THEN ELSE(Time >= 38 :AND: Peak Value Distributor Orders From Clients <Received
 Orders From Clients\
 , Received Orders From Clients ,Peak Value Distributor Orders From Clients),
 Normal Value Distributor Received Orders From Clients)
 ~ Units/Week
 ~ |

Increase Distributor Received Orders From Clients=
 zIDZ((Peak Value Distributor Orders From Clients - Normal Value Distributor Received Orders
 From Clients\
), Normal Value Distributor Received Orders From Clients)
 ~ Dimensionless
 ~ |

"Demand Amplification Distributor - Manufacturer"=
 zIDZ(Increase Manufacturer Incoming Local Orders, Increase Distributor Received Orders From
 Clients\
)
 ~ Dimensionless
 ~ |

Incoming Units From Distributor=
 DELAY1(Desired Units From Distributor, Perceived Distributor Delay)
 ~ Units/Week
 ~ |

Fraction Maintenance Local Unit Cost=
 0.18

~ Dimensionless/Weeks
~ |

Total Local Maintenance Cost=
(Local Inventory*Local Maintenance Unit Cost)
~ \$/Week
~ |

Total Export Maintenance Cost=
Export Inventory*Export Maintenance Unit Cost
~ \$/Week
~ |

Constrain 6=
IF THEN ELSE(Export Demand Amplification Shipment Rate<1, 5e+006 , Export Demand
Amplification Shipment Rate\
)
~ Dimensionless
~ |

Constrain 3=
IF THEN ELSE(Local Demand Amplification Production Rate<1, 5e+006 , Local Demand
Amplification Production Rate\
)
~ Dimensionless
~ |

Constrain 1=
IF THEN ELSE(Demand Amplification Material Delivery<1, 5e+006 , Demand Amplification
Material Delivery\
)
~ Dimensionless
~ |

Constrain 2=
IF THEN ELSE(Demand Amplification Production Start Rate<1, 5e+006 , Demand Amplification
Production Start Rate\
)
~ Dimensionless
~ |

Constrain 4=
IF THEN ELSE(Local Demand Amplification Shipment Rate<1, 5e+006 , Local Demand
Amplification Shipment Rate\
)
~ Dimensionless
~ |

Constrain 5=

IF THEN ELSE(Export Demand Amplification Production Rate<1, 5e+006 , Export Demand Amplification Production Rate\

)
 ~ Dimensionless
 ~ |

Aggregation Factor=

1
 ~ Units/Week
 ~ |

Final Local Price=

Local Sales Base Price-INTEGER(Table Discount(Local Shipment Rate/Aggregation Factor\
)*Local Sales Base Price)
 ~ \$/Units
 ~ |

Export Price=

Export Sales Base Price-INTEGER(Table Discount(Export Shipment Rate/Aggregation Factor\
)*Export Sales Base Price)
 ~ \$/Units
 ~ |

Fraction Maintenance Export Unit Cost=

0.15
 ~ Dimensionless/Weeks
 ~ |

Base Price=

8000
 ~ \$/Components
 ~ |

Materials Cost=

Table for Materials Cost(Manufacturer Materials Quantity/Financial Material Review)*\
 Base Price
 ~ \$/Components
 ~ |

Total Maintenance Materials Cost=

(Materials Inventory*Maintenance Materials Unit Cost)
 ~ \$/Week
 ~ |

Total Cash Rate=

(Export Price*Export Shipment Rate)+(Final Local Price*Local Shipment Rate)
 ~ \$/Week
 ~ |

Local Maintenance Unit Cost=

Local Sales Base Price*Fraction Maintenance Local Unit Cost
~ (\$/Units)/Weeks

~ |

Orders and Service Processing=

IF THEN ELSE(Time >= 38, Total Production*(Labor and Management Cost+Storage and Service Cost\

), 0)
~ \$/Week

~ |

Actual Manufacturing Cost =

Materials Cost Rate+Production and Maintenance Cost+Orders and Service Processing
~ \$/Week

~ |

Table Discount(

[(0,0)-(1e+007,1)],(0,0),(100000,0.1),(500000,0.2),(1e+006,0.25),(2e+006,0.35),(3e+006\

,0.4),(4e+006,0.45),(5e+006,0.48),(1e+007,0.5))

~ Dimensionless

~ |

Production and Maintenance Cost=

IF THEN ELSE(Time >=38, Total Export Maintenance Cost+Total Export Shipment Cost+Total Local Maintenance Cost\

+Total Local Miss Shipment Cost+Total Maintenance Materials Cost , 0)
~ \$/Week

~ |

Export Sales Base Price=

210

~ \$/Units

~ |

Total Export Shipment Cost=

(Desired Export Shipment Rate-Export Shipment Rate)*Miss Export Shipment Cost

~ \$/Week

~ |

Export Maintenance Unit Cost=

Export Sales Base Price*Fraction Maintenance Export Unit Cost
~ (\$/Units)/Weeks

~ |

Total Local Miss Shipment Cost=

(Desired Local Shipment Rate-Local Shipment Rate)*Miss Local Shipment Cost

~ \$/Week

~ |

Miss Local Shipment Cost=

Local Sales Base Price*Fraction Local Shipment Cost

~ \$/Units

~ |

Fraction Export Shipment Rate=

IF THEN ELSE(Export Delivery Delay<=1, 0.15 ,0.3)

~ Dimensionless

~ |

Fraction Local Shipment Cost=

IF THEN ELSE(Local Delivery Delay<=1, 0.15 ,0.3)

~ Dimensionless

~ |

Miss Export Shipment Cost=

Export Sales Base Price*Fraction Export Shipment Rate

~ \$/Units

~ |

Fraction Maintenance Cost for Material=

0.15

~ Dimensionless/Weeks

~ |

Maintenance Materials Unit Cost=

Fraction Maintenance Cost for Material*Materials Cost

~ (\$/Components)/Weeks

~ |

Table for Materials Cost(

[(0,0)-(35000,1)],(0,1),(5000,1),(7000,0.71),(10000,0.51),(13000,0.41),(14000,0.35),\
(15000,0.33),(20000,0.26),(23000,0.2),(30000,0.17),(35000,0.13))

~ Dimensionless

~ |

Real Profit=

Total Sales-Total Manufacturing Cost

~ \$

~ |

Actual Profit=

Total Cash Rate-(Orders and Service Processing+Materials Cost Rate+Production and Maintenance
Cost\

)

~ \$/Week

~ |

Labor and Management Cost=

24

~ \$/Units

~ |

Total Manufacturing Cost= INTEG (

Orders and Service Processing+Materials Cost Rate+Production and Maintenance Cost+Orders and Service Processing\

,
0)

~ \$

~ |

Storage and Service Cost=

10

~ \$/Units

~ |

Table For Distributor Orders(

[(0,0)-(10,1)],(0,0),(0.2,0.2),(0.4,0.4),(0.6,0.58),(0.8,0.7),(0.9,0.8),(1,0.9),(1.2\

,1),(2,1),(3,1),(10,1))

~ Dimensionless

~ |

Local Sales Base Price=

200

~ \$/Units

~ |

Desired Distributor Inventory Coverage=

Distributor Safety Stock+Distributor Minimum Order Lead Time

~ Weeks

~ |

Distributor Order Fulfillment Ratio=

Table For Distributor Orders(zIDZ(Distributor Maximum Shipment Rate, Desired Distributor Shipment Rate\

))

~ Dimensionless

~ |

Total Sales= INTEG (

+Total Cash Rate,

0)

~ \$

~ |

Distributor Shipment Rate=

Distributor Order Fulfillment Ratio*Desired Distributor Shipment Rate

~ Units/Week
~ |

Materials Cost Rate=

IF THEN ELSE(Time>=38, Material Delivery Rate*Materials Cost , 0)
~ \$/Week
~ |

Normal Value Incoming Local Orders= SIMULTANEOUS (

IF THEN ELSE(Time = 38 :AND: Normal Value Incoming Local Orders = 0, Incoming Local Orders\
Orders\
, Normal Value Incoming Local Orders),
Incoming Local Orders)
~ Units/Week
~ |

Normal Value Local Shipment Rate= SIMULTANEOUS (

IF THEN ELSE(Time = 38 :AND: Normal Value Local Shipment Rate = 0, Local Shipment Rate\
, Normal Value Local Shipment Rate),
Local Shipment Rate)
~ Units/Week
~ |

Export Order Fulfillment Ratio=

Table for Export Order Fulfillment(zIDZ(Maximum Export Shipment Rate,Desired Export Shipment Rate\
Shipment Rate\
))
~ Dimensionless
~ |

Export Shipment Rate=

Export Order Fulfillment Ratio*Desired Export Shipment Rate
~ Units/Week
~ |

Retailer Order Rate=

Incoming Demand
~ Units/Week
~ |

Retailer Delivery Delay=

zIDZ(Retailer Backlog for Orders,Retailer Fulfillment Rate)
~ Weeks
~ |

Change Retailer Incoming Demand=

((Incoming Demand)-Retailer Forecast)/Retailer Forecast Review Time
~ (Units/Week)/Week
~ |

Table For Inventory(

[(0,0)-(10000,10)],(1,10),(10,8),(50,7),(100,6),(200,5.6),(352.941,5.2669),(500,5),(\

847.059,4.59075),(1294.12,4.05694),(1905.88,3.3452),(2500,2.5),(5000,1),(10000,1))

~ Dimensionless

~ |

Retailer Backlog for Orders= INTEG (

Retailer Order Rate-Retailer Fulfillment Rate,
0)

~ Units

~ |

Retailer Safety Stock=

2.7

~ Weeks

~ |

Retailer Forecast= INTEG (

Change Retailer Incoming Demand,
Incoming Demand)

~ Units/Week

~ |

Retailer Fulfillment Rate=

Retailer Shipment Rate

~ Units/Week

~ |

Desired Export Inventory=

Backlog Export Orders

~ Units

~ |

Required Material=

MAX(Materials Average-Maximum Material Usage Rate, 0)

~ Components/Week

~ |

Desired Local Inventory=

(Local Forecast*Desired Local Inventory Coverage)

~ Units

~ |

Manufacturer Materials Quantity=

MAX(Desired Material Delivery Rate, Required Material)

~ Components/Week

~ |

Desired Local Production=
 MAX(0,Adjustment from Local Inventory)
 ~ Units/Week
 ~ |

Material Usage Ratio=
 Table for Material Usage(zIDZ(Maximum Material Usage Rate, Desired Material Usage Rate\
))
 ~ Dimensionless
 ~ |

Material Usage Rate=
 Material Usage Ratio*Desired Material Usage Rate
 ~ Components/Week
 ~ |

Desired Material Inventory Coverage=
 Material Safety Stock Coverage+Minimum Material Request Lead Time
 ~ Weeks
 ~ |

Desired Material Delivery Rate=
 MAX(Adjustment for Material Inventory, 0)
 ~ Components/Week
 ~ |

Desired Local Inventory Coverage=
 Local Safety Stock Coverage+Minimum Local Order LeadTime
 ~ Weeks
 ~ |

Financial Material Review =
 1
 ~ Components/Week
 ~ |

Payment Delay=
 Table For Payment(Manufacturer Materials Quantity/Financial Material Review)*Time To Pay
 ~ Weeks
 ~ |

Time To Pay=
 1
 ~ Weeks
 ~ |

Distributor Units On Travel Review Time=
 1
 ~ Weeks

~ |

Adjustment From Distributor Units on Travel=

(Desired Distributor Incoming Units-Distributor Units On Travel)/Distributor Units On Travel
Review Time

~ Units/Week

~ |

Materials Delay Time=

Payment Delay+Perceived Supplier Lead Time

~ Weeks

~ |

Retailer Maximum Shipment Rate=

Retailer Inventory/Retailer Minimum Order LeadTime

~ Units/Week

~ |

Adjustment From Retailer Inventory=

(Desired Retailer Inventory-Retailer Inventory)/Retailer Review Time

~ Units/Week

~ |

Incoming Demand:=

GET XLS DATA('data.xls','Sales_R','A','B2')

~ Units/Week

~ |

Desired Retailer Inventory Coverage=

Retailer Minimum Order LeadTime+Retailer Safety Stock

~ Weeks

~ |

Desired Units From Distributor=

MAX(0,Adjustment From Retailer Inventory)

~ Units/Week

~ |

Retailer Forecast Review Time=

2

~ Weeks

~ |

Desired Retailer Inventory=

Retailer Forecast*Desired Retailer Inventory Coverage

~ Units

~ |

Retailer Shipment Rate=

Retailer Order Fulfillment Ratio
~ Units/Week
~ |

Retailer Inventory= INTEG (
Incoming Units From Distributor-Retailer Shipment Rate,
Desired Retailer Inventory)
~ Units
~ |

{UTF-8}
Perceived Distributor Delay=
1
~ Weeks
~ |

Retailer Review Time=
2.4
~ Week
~ |

Retailer Minimum Order LeadTime=
1
~ Weeks
~ |

Adjustment From Distributor Inventory=
(Desired Distributor Inventory-Distributor Inventory)/Distributor Inventory Review Time
~ Units/Week
~ |

Adjustment for Material Inventory=
(Desired Material Inventory - Materials Inventory)/Materials Inventory Review Time
~ Components/Week
~ |

Adjustment for WIP=
(Desired WIP - Work in Process Inventory)/WIP Review Time
~ Units/Week
~ |

Local Inventory Review Time=
1.591
~ Weeks
~ |

Adjustment from Export Inventory=
(Desired Export Inventory - Export Inventory)/Export Inventory Review Time
~ Units/Week

~ |

Adjustment from Local Inventory=

(Desired Local Inventory - Local Inventory)/Local Inventory Review Time

~ Units/Week

~ |

Local Shipment Rate=

Local Order Fulfillment Ratio*Desired Local Shipment Rate

~ Units/Week

~ |

Materials Inventory Review Time=

1.57

~ Weeks

~ |

WIP Review Time=

1

~ Weeks

~ |

Distributor Inventory Review Time=

1.4

~ Weeks

~ |

Export Inventory Review Time=

1.268

~ Weeks

~ |

Local Order Fulfillment Ratio=

Table for Local Order Fulfillment(zIDZ(Maximum Local Shipment Rate,Desired Local Shipment Rate\

))

~ Dimensionless

~ |

Local Demand Amplification Production Rate=

IF THEN ELSE(Increase Incoming Local Orders= 0 , 0 , Increase Production Rate Local Orders\ /Increase Incoming Local Orders)

~ Dimensionless

~ |

Local Demand Amplification Shipment Rate=

zIDZ(Increase Local Shipment Rate, Increase Incoming Local Orders)

~ Dimensionless

~ |

Demand Amplification Material Delivery=

IF THEN ELSE(Increase Total Orders= 0 , 0 , Increase Material Delivery Rate/Increase Total Orders\
)

~ Dimensionless

~ |

Demand Amplification Production Start Rate=

IF THEN ELSE(Increase Total Orders= 0 , 0 , Increase Production Start Rate/Increase Total Orders\
)

~ Dimensionless

~ |

Export Demand Amplification Shipment Rate=

zIDZ(Increase Export Shipment Rate, Increase Incoming Export Orders)

~ Dimensionless

~ |

Peak Value Export Shipment Rate= SIMULTANEOUS (

IF THEN ELSE(Time >= 38 :AND: Peak Value Export Shipment Rate < Export Shipment Rate\
, Export Shipment Rate ,Peak Value Export Shipment Rate),
Normal Value Export Shipment Rate)

~ Units/Week

~ |

Peak Value Production Rate Export Orders= SIMULTANEOUS (

IF THEN ELSE(Time >= 38 :AND: Peak Value Production Rate Export Orders <Production Rate
For Export Orders\
, Production Rate For Export Orders ,Peak Value Production Rate Export Orders),
Normal Value Production Rate Export Orders)

~ Units/Week

~ |

Increase Incoming Local Orders=

zIDZ((Peak Value Incoming Local Orders - Normal Value Incoming Local Orders), Normal
Value Incoming Local Orders\
)

~ Dimensionless

~ |

Peak Value Incoming Local Orders= SIMULTANEOUS (

IF THEN ELSE(Time >= 38 :AND: Peak Value Incoming Local Orders <Incoming Local Orders\
, Incoming Local Orders ,Peak Value Incoming Local Orders),
Normal Value Incoming Local Orders)

~ Units/Week

~ |

Peak Value Local Shipment Rate= SIMULTANEOUS (


```

IF THEN ELSE( Time >= 38 :AND: Peak Value Local Shipment Rate < Local Shipment Rate\
, Local Shipment Rate ,Peak Value Local Shipment Rate ),
Normal Value Local Shipment Rate)
~ Units/Week
~ |

```

```

Peak Value Production Rate Local Orders= SIMULTANEOUS (
IF THEN ELSE( Time >= 38 :AND: Peak Value Production Rate Local Orders <Production Rate
For Local Orders\
, Production Rate For Local Orders ,Peak Value Production Rate Local Orders ),
Normal Value Production Rate Local Orders)
~ Units/Week
~ |

```

```

Normal Value Production Rate Local Orders= SIMULTANEOUS (
IF THEN ELSE(Time = 38 :AND: Normal Value Production Rate Local Orders = 0, Production
Rate For Local Orders\
, Normal Value Production Rate Local Orders ),
Production Rate For Local Orders)
~ Units/Week
~ |

```

```

Normal Value Production Start Rate= SIMULTANEOUS (
IF THEN ELSE(Time = 38 :AND: Normal Value Production Start Rate = 0, Production Start Rate\
, Normal Value Production Start Rate ),
Production Start Rate)
~ Units/Week
~ |

```

```

Normal Value Material Delivery Rate= SIMULTANEOUS (
IF THEN ELSE(Time = 38 :AND: Normal Value Material Delivery Rate = 0, Material Delivery
Rate\
, Normal Value Material Delivery Rate ),
Material Delivery Rate)
~ Components/Week
~ |

```

```

Peak Value Total Orders= SIMULTANEOUS (
IF THEN ELSE( Time >= 38 :AND: Peak Value Total Orders < Incoming Local Orders
+Incoming Export Orders\
, Incoming Local Orders +Incoming Export Orders
,Peak Value Total Orders ),
Normal Value Total Orders)
~ Units/Week
~ |

```

```

Normal Value Export Shipment Rate= SIMULTANEOUS (
IF THEN ELSE(Time = 38 :AND: Normal Value Export Shipment Rate = 0, Export Shipment
Rate\

```

, Normal Value Export Shipment Rate),
 Export Shipment Rate)
 ~ Units/Week
 ~ |

Normal Value Production Rate Export Orders= SIMULTANEOUS (
 IF THEN ELSE(Time = 38 :AND: Normal Value Production Rate Export Orders = 0, Production
 Rate For Export Orders\
 , Normal Value Production Rate Export Orders),
 Production Rate For Export Orders)
 ~ Units/Week
 ~ |

Normal Value Total Orders= INITIAL(
 Incoming Local Orders +Incoming Export Orders)
 ~ Units/Week
 ~ |

Peak Value Production Start Rate= SIMULTANEOUS (
 IF THEN ELSE(Time >= 38 :AND: Peak Value Production Start Rate <Production Start Rate\
 , Production Start Rate ,Peak Value Production Start Rate),
 Normal Value Production Start Rate)
 ~ Units/Week
 ~ |

Export Demand Amplification Production Rate=
 IF THEN ELSE(Increase Incoming Export Orders= 0 , 0 , Increase Production Rate Export Orders\
 /Increase Incoming Export Orders)
 ~ Dimensionless
 ~ |

Peak Value Incoming Export Orders= SIMULTANEOUS (
 IF THEN ELSE(Time >= 38 :AND: Peak Value Incoming Export Orders <Incoming Export
 Orders\
 ,Incoming Export Orders ,Peak Value Incoming Export Orders),
 Normal Value Incoming Export Orders)
 ~ Units/Week
 ~ |

Increase Production Rate Export Orders=
 zIDZ((Peak Value Production Rate Export Orders - Normal Value Production Rate Export Orders\
) , Normal Value Production Rate Export Orders)
 ~ Dimensionless
 ~ |

Increase Total Orders=
 zIDZ((Peak Value Total Orders - Normal Value Total Orders), Normal Value Total Orders\
)
 ~ Dimensionless

~ |

Normal Value Incoming Export Orders= SIMULTANEOUS (
IF THEN ELSE(Time = 38 :AND: Normal Value Incoming Export Orders = 0, Incoming Export
Orders\
 , Normal Value Incoming Export Orders),
 Incoming Export Orders)
~ Units/Week
~ |

Increase Local Shipment Rate=
zIDZ((Peak Value Local Shipment Rate - Normal Value Local Shipment Rate) ,Normal Value
Local Shipment Rate\
)
~ Dimensionless
~ |

Increase Production Rate Local Orders=
zIDZ((Peak Value Production Rate Local Orders - Normal Value Production Rate Local Orders\
) , Normal Value Production Rate Local Orders)
~ Dimensionless
~ |

Increase Production Start Rate=
zIDZ((Peak Value Production Start Rate- Normal Value Production Start Rate) ,Normal Value
Production Start Rate\
)
~ Dimensionless
~ |

Increase Material Delivery Rate=
zIDZ((Peak Value Material Delivery Rate - Normal Value Material Delivery Rate) , Normal Value
Material Delivery Rate\
)
~ Dimensionless
~ |

Increase Incoming Export Orders=
zIDZ((Peak Value Incoming Export Orders - Normal Value Incoming Export Orders), \
 Normal Value Incoming Export Orders)
~ Dimensionless
~ |

{UTF-8}

Increase Export Shipment Rate=
zIDZ((Peak Value Export Shipment Rate - Normal Value Export Shipment Rate) ,Normal Value
Export Shipment Rate\
)
~ Dimensionless

```

~      |

Peak Value Material Delivery Rate= SIMULTANEOUS (
  IF THEN ELSE( Time >= 38 :AND: Peak Value Material Delivery Rate < Material Delivery Rate\
    , Material Delivery Rate ,Peak Value Material Delivery Rate ),
    Normal Value Material Delivery Rate)
~    Components/Week
~      |

Distributor Delivery Delay=
  zIDZ(Backlog for Distributor Orders,Distributor Fulfillment Rate)
~    Weeks
~      |

Desired Distributor Units=
  MAX(0,Adjustment From Distributor Inventory)
~    Units/Week
~      |

Received Orders From Clients:=
  GET XLS DATA('data.xls','Sales_D','A','B2')
~    Units/Week
~      |

Distributor Inventory= INTEG (
  Distributor Units Rate-Distributor Shipment Rate,
  Desired Distributor Inventory)
~    Units
~      |

Backlog for Distributor Orders= INTEG (
  Distributor Order Rate-Distributor Fulfillment Rate,
  0)
~    Units
~      |

Distributor Units On Travel= INTEG (
  Incoming Units From Manufacturer-Distributor Units Rate,
  Desired Distributor Incoming Units)
~    Units
~      |

Change Distributor Incoming Orders=
  (Received Orders From Clients-Distributor Forecast)/
  Distributor Forecast Review Time
~    (Units/Week)/Week
~      |

Distributor Minimum Order Lead Time=

```

1
 ~ Weeks
 ~ |

Distributor Target Delivery Delay=

1
 ~ Weeks
 ~ |

Desired Distributor Inventory=

Distributor Forecast*Desired Distributor Inventory Coverage

~ Units
 ~ |

Desired Units From Manufacturer=

MAX(Adjustment From Distributor Units on Travel, 0)

~ Units/Week
 ~ |

Distributor Maximum Units Rate=

Distributor Units On Travel/Distributor Enlistment Time

~ Units/Week
 ~ |

Desired Distributor Incoming Units=

Desired Distributor Units*Distributor Enlistment Time

~ Units
 ~ |

Distributor Forecast= INTEG (

Change Distributor Incoming Orders,
 Received Orders From Clients)

~ Units/Week
 ~ |

Distributor Fulfillment Rate=

Distributor Shipment Rate

~ Unit/Week
 ~ |

Distributor Maximum Shipment Rate=

Distributor Inventory/Distributor Minimum Order Lead Time

~ Units/Week
 ~ |

Distributor Safety Stock=

3
 ~ Weeks
 ~ |

Perceived Manufacturer Delay=

1.9

~ Weeks

~ |

Distributor Enlistment Time=

1

~ Weeks

~ |

Distributor Units Rate=

Distributor Maximum Units Rate

~ Units/Week

~ |

Distributor Forecast Review Time=

4

~ Weeks

~ |

{UTF-8}

Desired Distributor Shipment Rate=

Backlog for Distributor Orders/Distributor Target Delivery Delay

~ Units/Week

~ |

Incoming Units From Manufacturer=

DELAY1(Desired Units From Manufacturer, Perceived Manufacturer Delay)

~ Units/Week

~ |

Distributor Order Rate=

Received Orders From Clients

~ Units/Week

~ |

Production Coverage=

zIDZ(Work in Process Inventory, (Production Rate For Local Orders+Production Rate For Export Orders\

))

~ Weeks

~ |

Materials Coverage=

zIDZ(Materials Inventory, Material Usage Rate)

~ Weeks

~ |

Perceived Change Material Rate=
 (Material Usage Rate-Materials Average)/Materials Average Review Time
 ~ (Components/Week)/Week
 ~ |

Change in Fcasted Orders=
 (Incoming Local Orders-Local Forecast)/Forecast Review Time
 ~ (Units/Week)/Week
 ~ |

Forecast Review Time=
 12
 ~ Weeks
 ~ |

Materials Average Review Time=
 4
 ~ Weeks
 ~ |

Materials Average= INTEG (
 Perceived Change Material Rate,
 Material Usage Rate)
 ~ Components/Week
 ~ |

Production Plan=
 IF THEN ELSE(Desired Production Start Rate>=Production Capacity, Production Capacity\
 , Desired Production Start Rate)
 ~ Units/Week
 ~ |

{UTF-8}
 Maximum Capacity=
 3.1e+006
 ~ Units/Week
 ~ |

Production Capacity=
 Maximum Capacity
 ~ Units/Week
 ~ |

Desired Production Start Rate=
 MAX(0, Adjustment for WIP)
 ~ Units/Week
 ~ |

Desired Export Production=

MAX(0,Adjustment from Export Inventory)

~ Units/Week

~ |

Perceived Supplier Lead Time=

12

~ Weeks

~ |

Material Delivery Rate=

DELAY1(Manufacturer Materials Quantity, Materials Delay Time)

~ Components/Week

~ |

Desired WIP=

Manufacturing LeadTime*(Desired Local Production+Desired Export Production)

~ Units

~ |

Relation Between Desired Productions=

Table for Production(IF THEN ELSE(Desired Export Production <> 0 , Desired Local Production\
/Desired Export Production
, 10))

~ Dimensionless

~ |

Table For Payment(

[(0,0)-(8e+008,10)],(0,0),(1000,0),(2000,1),(3000,1),(4000,2),(5000,3),(6000,3),(7000\
,4),(8000,5),(9000,5),(10000,4),(1e+006,4))

~ Dimensionless

~ |

Export Inventory= INTEG (

Production Rate For Export Orders-Export Shipment Rate,
Desired Export Inventory)

~ Units

~ |

Production Rate For Export Orders=

Maximun Production Rate * (1 - Relation Between Desired Productions)

~ Units/Week

~ |

Total Production=

Production Rate For Export Orders+Production Rate For Local Orders

~ Units/Week

~ |

Work in Process Inventory= INTEG (

Production Start Rate-Production Rate For Local Orders-Production Rate For Export Orders\
 ,
 Desired WIP)
 ~ Units
 ~ |

Total Inventory=
 Export Inventory+Local Inventory
 ~ Units
 ~ |

Export Inventory Coverage=
 zIDZ(Export Inventory,Export Shipment Rate)
 ~ Weeks
 ~ |

Production Rate For Local Orders=
 Maximun Production Rate* Relation Between Desired Productions
 ~ Units/Week
 ~ |

Maximun Production Rate=
 Work in Process Inventory/Manufacturing LeadTime
 ~ Units/Week
 ~ |

Table for Production(
 [(0,0)-(100,1)],(0,0),(0.2,0),(0.3,0),(0.5,0),(0.7,0.2),(0.8,0.3),(1,0.4),(1.3,0.6),\
 (2,0.8),(3,0.9),(5,1),(10,1),(100,1))
 ~ Dimensionless
 ~ |

Local Inventory= INTEG (
 Production Rate For Local Orders-Local Shipment Rate,
 Desired Local Inventory)
 ~ Units
 ~ |

Local Forecast = INTEG (
 Change in Fcasted Orders,
 Incoming Local Orders)
 ~ Units/Week
 ~ |

Order Export Rate=
 Incoming Export Orders
 ~ Units/Week
 ~ |

Incoming Export Orders=
10000+STEP(2000, 50)
~ Units/Week
~ |

Desired Export Shipment Rate=
Backlog Export Orders/ExportTarget Delivery Delay
~ Units/Week
~ |

Backlog Export Orders= INTEG (
+Order Export Rate-Order Export Fulfillment Rate,
0)
~ Units
~ |

Maximum Export Shipment Rate=
Export Inventory/Minimum Export Order LeadTime
~ Units/Week
~ |

Export Delivery Delay=
zIDZ(Backlog Export Orders,Order Export Fulfillment Rate)
~ Weeks
~ |

Minimum Export Order LeadTime=
1.5
~ Weeks
~ |

Order Export Fulfillment Rate=
Export Shipment Rate
~ Units/Week
~ |

ExportTarget Delivery Delay=
5
~ Weeks
~ |

Table for Export Order Fulfillment(
[(0,0)-(10,1)],(0,0),(0.2,0),(0.4,0.1),(0.6,0.2),(0.8,0.3),(1.1,0.5),(1.2,0.8),(1.4,\
1),(2,1),(3,1),(4,1),(10,1))
~ Dimensionless
~ |

Desired Material Usage Rate=
MAX(0, Production Plan/Material Usage per Unit)

~ Components/Week
 ~ |

Order Local Rate=
 Incoming Local Orders
 ~ Units/Week
 ~ |

Backlog Local Orders= INTEG (
 +Order Local Rate-Order Local Fulfillment Rate,
 0)
 ~ Units
 ~ |

Incoming Local Orders=
 10000+STEP(2000, 50)
 ~ Units/Week
 ~ |

Initial Forecasted=
 800000
 ~ Units/Week
 ~ |

Local Delivery Delay=
 zIDZ(Backlog Local Orders,Order Local Fulfillment Rate)
 ~ Weeks
 ~ |

Desired Material Inventory=
 Desired Material Usage Rate*Desired Material Inventory Coverage
 ~ Components
 ~ |

Desired Local Shipment Rate=
 Backlog Local Orders/Local Target Delivery Delay
 ~ Units/Week
 ~ |

Feasible Production Starts from Materials=
 Material Usage Rate*Material Usage per Unit
 ~ Units/Week
 ~ |

Local Inventory Coverage=
 zIDZ(Local Inventory,Local Shipment Rate)
 ~ Weeks
 ~ |

Manufacturing LeadTime=

2.2

~ Weeks

~ |

Material Safety Stock Coverage=

3.82

~ Week

~ |

Material Usage per Unit=

325

~ Units/Components

~ |

Materials Inventory= INTEG (

Material Delivery Rate-Material Usage Rate,
Desired Material Inventory)

~ Components

~ |

Maximum Material Usage Rate=

Materials Inventory/Minimum Material Request Lead Time

~ Components/Week

~ |

Maximum Local Shipment Rate=

Local Inventory/Minimum Local Order LeadTime

~ Units/Week

~ |

Minimum Material Request Lead Time=

1

~ Weeks

~ |

Minimum Local Order LeadTime=

1

~ Weeks

~ |

APÉNDICE B

B.1. Derivada numérica para las variables del modelo Predator-Prey

Slope_Predator = predator birth-predator death, Luego:

Slope_Predator=predator interaction constant*Prey*Predator- predator death rate*Predator

$$\frac{\partial Predator}{\partial Predator} = ((\text{predator interaction constant} * \text{Prey} * (\text{Predator} + h) - \text{predator death rate} * (\text{Predator} + h)) - (\text{predator interaction constant} * \text{Prey} * (\text{Predator} - h) - \text{predator death rate} * (\text{Predator} - h)) / 2 * h$$

$$\frac{\partial Predator}{\partial Prey} = ((\text{predator interaction constant} * (\text{Prey} + h) * \text{Predator} - \text{predator death rate} * \text{Predator}) - (\text{predator interaction constant} * (\text{Prey} - h) * \text{Predator} - \text{predator death rate} * \text{Predator})) / 2 * h$$

Slope_Prey= prey birth-prey death, Luego:

Slope_Prey= prey birth rate*Prey- prey interaction constant*Prey*Predator

$$\frac{\partial Prey}{\partial Prey} = ((\text{prey birth rate} * (\text{Prey} + h) - \text{prey interaction constant} * (\text{Prey} + h) * \text{Predator}) - (\text{prey birth rate} * (\text{Prey} - h) - \text{prey interaction constant} * (\text{Prey} - h) * \text{Predator})) / 2 * h$$

$$\frac{\partial Prey}{\partial Predator} = ((\text{prey birth rate} * \text{Prey} - \text{prey interaction constant} * \text{Prey} * (\text{Predator} + h)) - (\text{prey birth rate} * \text{Prey} - \text{prey interaction constant} * \text{Prey} * (\text{Predator} - h))) / 2 * h$$

B.2. Ganancias de los pathways del modelo Predator-Prey

$$g11p1 = (((\text{predator interaction constant} * \text{Prey} * (\text{Predator} + 0.001)) - \text{predator death}) - ((\text{predator interaction constant} * \text{Prey} * (\text{Predator} - 0.001)) - \text{predator death})) / (2 * 0.001)$$

$$g11p2 = ((\text{predator birth} - (\text{predator death rate} * (\text{Predator} + 0.001))) - (\text{predator birth} - (\text{predator death rate} * (\text{Predator} - 0.001)))) / (2 * 0.001)$$

$$g12p1 = ((\text{prey birth} - (\text{prey interaction constant} * \text{Prey} * (\text{Predator} + 0.001))) - (\text{prey birth} - (\text{prey interaction constant} * \text{Prey} * (\text{Predator} - 0.001)))) / (2 * 0.001)$$

$$g21p1 = (((\text{predator interaction constant} * (\text{Prey} + 0.001) * \text{Predator}) - \text{predator death}) - ((\text{predator interaction constant} * (\text{Prey} - 0.001) * \text{Predator}) - \text{predator death})) / (2 * 0.001)$$

$$g22p1 = (((\text{prey birth rate} * (\text{Prey} + 0.001)) - \text{prey death}) - ((\text{prey birth rate} * (\text{Prey} - 0.001)) - \text{prey death})) / (2 * 0.001)$$

$$g22p2 = ((\text{prey birth} - (\text{prey interaction constant} * (\text{Prey} + 0.001) * \text{Predator})) - (\text{prey birth} - (\text{prey interaction constant} * (\text{Prey} - 0.001) * \text{Predator}))) / (2 * 0.001)$$

B.3. Derivada numérica para las variables del modelo Yeast Population

Slope_Cells = births-deaths, luego tenemos:

$$\text{Slope_Cells} = (\text{Cells}/\text{divisiontime}) * \text{eff alc birth} - (\text{Cells}/\text{lifetime}) * \text{eff alc death}$$

$$\text{Slope_Cells} = (\text{Cells}/\text{divisiontime}) * ((-0.1 * \text{Alcohol}) + 1.1) - (\text{Cells}/\text{lifetime}) * (\text{EXP}(\text{Alcohol} - 11))$$

$$\frac{\partial \text{Cells}}{\partial \text{Cells}} = (((((\text{Cells} + h)/\text{divisiontime}) * ((-0.1 * \text{Alcohol}) + 1.1) - ((\text{Cells} + h)/\text{lifetime}) * (\text{EXP}(\text{Alcohol} - 11)))) - (((\text{Cells} - h)/\text{divisiontime}) * ((-0.1 * \text{Alcohol}) + 1.1) - ((\text{Cells} - h)/\text{lifetime}) * (\text{EXP}(\text{Alcohol} - 11)))) / (2 * h)$$

$$\frac{\partial \text{Cells}}{\partial \text{Alcohol}} = (((((\text{Cells}/\text{divisiontime}) * ((-0.1 * (\text{Alcohol} + h)) + 1.1) - (\text{Cells}/\text{lifetime}) * (\text{EXP}((\text{Alcohol} + h) - 11)))) - (((\text{Cells}/\text{divisiontime}) * ((-0.1 * (\text{Alcohol} - h)) + 1.1) - (\text{Cells}/\text{lifetime}) * (\text{EXP}((\text{Alcohol} - h) - 11)))) / (2 * h)$$

$$\text{Slope_Alcohol} = \text{alcoholgeneration}$$

$$\text{Slope_Alcohol} = \text{Cells} * \text{alcoholpercellgeneration}$$

$$\frac{\partial \text{Alcohol}}{\partial \text{Alcohol}} = (\text{Cells} * \text{alcoholpercellgeneration} - \text{Cells} * \text{alcoholpercellgeneration}) / (2 * h) = 0$$

$$\frac{\partial \text{Alcohol}}{\partial \text{Cells}} = (((\text{Cells} + h) * \text{alcoholpercellgeneration}) - ((\text{Cells} - h) * \text{alcoholpercellgeneration})) / (2 * h)$$

B.4. Ganancias de los pathways del modelo Yeast Population

$$g12p1 = (((((\text{Cells}/\text{divisiontime}) * ((-0.1 * (\text{Alcohol} + 0.0005)) + 1.1)) - \text{deaths}) - (((\text{Cells}/\text{divisiontime}) * ((-0.1 * (\text{Alcohol} - 0.0005)) + 1.1)) - \text{deaths})) / (2 * 0.0005)$$

$$g12p2 = ((\text{births} - ((\text{Cells}/\text{lifetime}) * (\text{EXP}((\text{Alcohol} + 0.0005) - 11)))) - (\text{births} - ((\text{Cells}/\text{lifetime}) * (\text{EXP}((\text{Alcohol} - 0.0005) - 11)))) / (2 * 0.0005)$$

$$g21p1 = (((\text{Cells} + 0.0005) * \text{alcoholpercellgeneration}) - (((\text{Cells} - 0.0005) * \text{alcoholpercellgeneration}))) / (2 * 0.0005)$$

$$g22p1 = (((((\text{Cells} + 0.0005)/\text{divisiontime}) * \text{eff alc birth} - \text{deaths}) - (((\text{Cells} - 0.0005)/\text{divisiontime}) * \text{eff alc birth} - \text{deaths})) / (2 * 0.0005)$$

$$g22p2=((births-(((Cells+0.0005)/lifetime)*eff_alc_death))-(births-(((Cells-0.0005)/lifetime)*eff_alc_death)))/(2*0.0005)$$

B.5. Ganancias de los pathways del modelo Economic Long Wave

$$g12p1=(((Supply*Production)/(Backlog+(Backlog*0.005)))-Depreciation)-(((Supply*Production)/(Backlog-(Backlog*0.005)))-Depreciation))/(2*Backlog*0.005)$$

$$g13p1=((+Capital_orders-((Supply*Production)/(Backlog+(Backlog*0.005))))-(+Capital_orders-((Supply*Production)/(Backlog-(Backlog*0.005)))))/(2*Backlog*0.005)$$

$$g12p2=(((Supply*(capacity*(capacity_utilization_fnc(((Backlog+(Backlog*0.005))/normal_delivery_delay)/capacity))))/(Backlog+(Backlog*0.005)))-Depreciation)-(((Supply*(capacity*(capacity_utilization_fnc(((Backlog-(Backlog*0.005))/normal_delivery_delay)/capacity))))/(Backlog-(Backlog*0.005)))-Depreciation))/(2*Backlog*0.005)$$

$$g13p2=((+Capital_orders-((Supply*(capacity*(capacity_utilization_fnc(((Backlog+(Backlog*0.005))/normal_delivery_delay)/capacity))))/(Backlog+(Backlog*0.005)))-(+Capital_orders-((Supply*(capacity*(capacity_utilization_fnc(((Backlog-(Backlog*0.005))/normal_delivery_delay)/capacity))))/(Backlog-(Backlog*0.005)))))/(2*Backlog*0.005)$$

$$g11p1=((Capital_orders_Backlog+goods_orders-(capacity*(capacity_utilization_fnc(((Backlog+(Backlog*0.005))/normal_delivery_delay)/capacity))))-(Capital_orders_Backlog+goods_orders-(capacity*(capacity_utilization_fnc(((Backlog-(Backlog*0.005))/normal_delivery_delay)/capacity)))))/(2*Backlog*0.005)$$

$$g11p2=(((Depreciation*(relative_orders_fnc((Depreciation+capital_adjustment+(((Depreciation*((Backlog+(Backlog*0.005))/(capacity*(capacity_utilization_fnc(((Backlog+(Backlog*0.005))/normal_delivery_delay)/capacity)))))-Supply)/supply_adjust_time))/Depreciation)))+goods_orders-Production)-(((Depreciation*(relative_orders_fnc((Depreciation+capital_adjustment+(((Depreciation*((Backlog-(Backlog*0.005))/(capacity*(capacity_utilization_fnc(((Backlog-(Backlog*0.005))/normal_delivery_delay)/capacity)))))-Supply)/supply_adjust_time))/Depreciation)))+goods_orders-Production)$$

delay)/capacity))))-Supply)/supply adjust time))/Depreciation)))+goods orders-Production))/(2* Backlog *0.005)

g13p3=((+(Depreciation*(relative orders fnc((Depreciation+capital adjustment+(((Depreciation*((Backlog+(Backlog*0.005))/(capacity*(capacity utilization fnc(((Backlog+(Backlog*0.005))/normal delivery delay)/capacity))))-Supply)/supply adjust time))/Depreciation)))-Acquisitions)-+(Depreciation*(relative orders fnc((Depreciation+capital adjustment+(((Depreciation*((Backlog-(Backlog*0.005))/(capacity*(capacity utilization fnc(((Backlog-(Backlog*0.005))/normal delivery delay)/capacity))))-Supply)/supply adjust time))/Depreciation)))-Acquisitions))/(2* Backlog *0.005)

g11p3((((Depreciation*(relative orders fnc((Depreciation+((((Backlog+(Backlog*0.005))/normal delivery delay)*capital output ratio)-Capital)/capital adjust time)+supply adjustment)/Depreciation)))+goods orders-Production)-(((Depreciation*(relative orders fnc((Depreciation+((((Backlog-(Backlog*0.005))/normal delivery delay)*capital output ratio)-Capital)/capital adjust time)+supply adjustment)/Depreciation)))+goods orders-Production))/(2* Backlog *0.005)

g13p4=((+(Depreciation*(relative orders fnc((Depreciation+((((Backlog+(Backlog*0.005))/normal delivery delay)*capital output ratio)-Capital)/capital adjust time)+supply adjustment)/Depreciation)))-Acquisitions)-+(Depreciation*(relative orders fnc((Depreciation+((((Backlog-(Backlog*0.005))/normal delivery delay)*capital output ratio)-Capital)/capital adjust time)+supply adjustment)/Depreciation)))-Acquisitions))/(2* Backlog*0.005)

g11p4((((Depreciation*(relative orders fnc((Depreciation+capital adjustment+(((Depreciation*((Backlog+(Backlog*0.005))/Production))-Supply)/supply adjust time))/Depreciation)))+goods orders-Production)-(((Depreciation*(relative orders fnc((Depreciation+capital adjustment+(((Depreciation*((Backlog-(Backlog*0.005))/Production))-Supply)/supply adjust time))/Depreciation)))+goods orders-Production))/(2* Backlog *0.005)

g13p5=((+(Depreciation*(relative orders fnc((Depreciation+capital adjustment+(((Depreciation*((Backlog+(Backlog*0.005))/Production))-Supply)/supply adjust time))/Depreciation)))-Acquisitions)-+(Depreciation*(relative orders fnc((Depreciation+capital

adjustment+(((Depreciation*((Backlog-(Backlog*0.005))/Production))-Supply)/supply adjust time))/Depreciation))) - Acquisitions)))/(2* Backlog *0.005)

g22p1=(((Supply*(((Capital+(Capital*0.005))/capital output ratio)*(capacity utilization fnc(desired production/capacity))))/Backlog)-Depreciation)-(((Supply*(((Capital-(Capital*0.005))/capital output ratio)*(capacity utilization fnc(desired production/capacity))))/Backlog)-Depreciation)))/(2* Capital *0.005)

g23p1=((+Capital orders-((Supply*(((Capital+(Capital*0.005))/capital output ratio)*(capacity utilization fnc(desired production/capacity))))/Backlog))-(+Capital orders-((Supply*(((Capital-(Capital *0.005))/capital output ratio)*(capacity utilization fnc(desired production/capacity))))/Backlog)))/(2* Capital *0.005)

g21p1=((Capital orders Backlog+goods orders-(((Capital+(Capital*0.005))/capital output ratio)*(capacity utilization fnc(desired production/capacity))))-(Capital orders Backlog+goods orders-(((Capital-(Capital*0.005))/capital output ratio)*(capacity utilization fnc (desired production/capacity)))))/(2* Capital *0.005)

g21p2=(((Depreciation*(relative orders fnc((Depreciation+capital adjustment+(((Depreciation*(Backlog/(((Capital+(Capital*0.005))/capital output ratio)*(capacity utilization fnc(desired production/capacity)))))-Supply)/supply adjust time))/Depreciation))))+goods orders-Production)-(((Depreciation*(relative orders fnc((Depreciation+capital adjustment+ (((Depreciation*(Backlog/(((Capital-(Capital*0.005))/capital output ratio)*(capacity utilization fnc(desired production/capacity)))))-Supply)/supply adjust time))/Depreciation))))+goods orders-Production)))/(2* Capital *0.005)

g23p2=((+(Depreciation*(relative orders fnc((Depreciation+capital adjustment+(((Depreciation*(Backlog/(((Capital+(Capital*0.005))/capital output ratio)*(capacity utilization fnc(desired production/capacity)))))-Supply)/supply adjust time))/Depreciation)))- Acquisitions)-(+Depreciation*(relative orders fnc((Depreciation+capital adjustment+(((Depreciation*(Backlog/(((Capital-(Capital*0.005))/capital output ratio)*(capacity utilization fnc(desired production/capacity)))))-Supply)/supply adjust time))/Depreciation)))- Acquisitions)))/(2* Capital *0.005)

$$g22p2 = (((Supply * (((Capital + (Capital * 0.005)) / capital\ output\ ratio) * capacity\ utilization)) / Backlog) - Depreciation) - (((Supply * (((Capital - (Capital * 0.005)) / capital\ output\ ratio) * capacity\ utilization)) / Backlog) - Depreciation)) / (2 * Capital * 0.005)$$

$$g23p3 = ((+Capital\ orders - ((Supply * (((Capital + (Capital * 0.005)) / capital\ output\ ratio) * capacity\ utilization)) / Backlog)) - (+Capital\ orders - ((Supply * (((Capital - (Capital * 0.005)) / capital\ output\ ratio) * capacity\ utilization)) / Backlog))) / (2 * Capital * 0.005)$$

$$g21p3 = ((Capital\ orders\ Backlog + goods\ orders - (((Capital + (Capital * 0.005)) / capital\ output\ ratio) * capacity\ utilization)) - (Capital\ orders\ Backlog + goods\ orders - (((Capital - (Capital * 0.005)) / capital\ output\ ratio) * capacity\ utilization))) / (2 * Capital * 0.005)$$

$$g21p4 = (((Depreciation * (relative\ orders\ fnc((Depreciation + capital\ adjustment + (((Depreciation * (Backlog / (((Capital + (Capital * 0.005)) / capital\ output\ ratio) * capacity\ utilization)))) - Supply) / supply\ adjust\ time)) / Depreciation))) + goods\ orders - Production) - (((Depreciation * (relative\ orders\ fnc((Depreciation + capital\ adjustment + (((Depreciation * (Backlog / (((Capital - (Capital * 0.005)) / capital\ output\ ratio) * capacity\ utilization)))) - Supply) / supply\ adjust\ time)) / Depreciation))) + goods\ orders - Production)) / (2 * Capital * 0.005)$$

$$g23p4 = ((+ (Depreciation * (relative\ orders\ fnc((Depreciation + capital\ adjustment + (((Depreciation * (Backlog / (((Capital + (Capital * 0.005)) / capital\ output\ ratio) * capacity\ utilization)))) - Supply) / supply\ adjust\ time)) / Depreciation))) - Acquisitions) - (+ (Depreciation * (relative\ orders\ fnc((Depreciation + capital\ adjustment + (((Depreciation * (Backlog / (((Capital - (Capital * 0.005)) / capital\ output\ ratio) * capacity\ utilization)))) - Supply) / supply\ adjust\ time)) / Depreciation))) - Acquisitions)) / (2 * Capital * 0.005)$$

$$g21p5 = (((Depreciation * (relative\ orders\ fnc((Depreciation + ((desired\ capital - (Capital + (Capital * 0.005))) / capital\ adjust\ time) + supply\ adjustment) / Depreciation)))) + goods\ orders - Production) - (((Depreciation * (relative\ orders\ fnc((Depreciation + ((desired\ capital - (Capital - (Capital * 0.005))) / capital\ adjust\ time) + supply\ adjustment) / Depreciation)))) + goods\ orders - Production)) / (2 * Capital * 0.005)$$

$$g23p5 = \frac{((+((\text{Depreciation} * (\text{relative orders fnc}((\text{Depreciation} + ((\text{desired capital} - (\text{Capital} + (\text{Capital} * 0.005)))) / \text{capital adjust time}) + \text{supply adjustment}) / \text{Depreciation}))) - \text{Acquisitions}) - ((\text{Depreciation} * (\text{relative orders fnc}((\text{Depreciation} + ((\text{desired capital} - (\text{Capital} * 0.005)))) / \text{capital adjust time}) + \text{supply adjustment}) / \text{Depreciation}))) - \text{Acquisitions})) / (2 * \text{Capital} * 0.005)}$$

$$g22p3 = \frac{((\text{Acquisitions} - ((\text{Capital} + (\text{Capital} * 0.005)) / \text{avg lifetime of capital})) - (\text{Acquisitions} - ((\text{Capital} - (\text{Capital} * 0.005)) / \text{avg lifetime of capital}))) / (2 * \text{Capital} * 0.005)}$$

$$g21p6 = \frac{((((((\text{Capital} + (\text{Capital} * 0.005)) / \text{avg lifetime of capital}) * \text{relative orders})) + \text{goods orders} - \text{Production}) - (((((\text{Capital} - (\text{Capital} * 0.005)) / \text{avg lifetime of capital}) * \text{relative orders})) + \text{goods orders} - \text{Production})) / (2 * \text{Capital} * 0.005)}$$

$$g23p6 = \frac{(((((\text{Capital} + (\text{Capital} * 0.005)) / \text{avg lifetime of capital}) * \text{relative orders}) - \text{Acquisitions}) - (((((\text{Capital} - (\text{Capital} * 0.005)) / \text{avg lifetime of capital}) * \text{relative orders}) - \text{Acquisitions}))) / (2 * \text{Capital} * 0.005)}$$

$$g21p7 = \frac{((((((\text{Capital} + (\text{Capital} * 0.005)) / \text{avg lifetime of capital}) * (\text{relative orders fnc}((\text{Depreciation} + \text{capital adjustment} + \text{supply adjustment}) / \text{Depreciation})))) + \text{goods orders} - \text{Production}) - (((((\text{Capital} - (\text{Capital} * 0.005)) / \text{avg lifetime of capital}) * (\text{relative orders fnc}((\text{Depreciation} + \text{capital adjustment} + \text{supply adjustment}) / \text{Depreciation})))) + \text{goods orders} - \text{Production}))) / (2 * \text{Capital} * 0.005)}$$

$$g23p7 = \frac{(((((\text{Capital} + (\text{Capital} * 0.005)) / \text{avg lifetime of capital}) * (\text{relative orders fnc}((\text{Depreciation} + \text{capital adjustment} + \text{supply adjustment}) / \text{Depreciation})))) - \text{Acquisitions}) - ((((((\text{Capital} - (\text{Capital} * 0.005)) / \text{avg lifetime of capital}) * (\text{relative orders fnc}((\text{Depreciation} + \text{capital adjustment} + \text{supply adjustment}) / \text{Depreciation})))) - \text{Acquisitions}))) / (2 * \text{Capital} * 0.005)}$$

$$g21p8 = \frac{((((((\text{Capital} + (\text{Capital} * 0.005)) / \text{avg lifetime of capital}) * (\text{relative orders fnc}((\text{Depreciation} + \text{capital adjustment} + (((\text{Depreciation} * (\text{Backlog} / \text{Production})) - \text{Supply}) / \text{supply adjust time})) / \text{Depreciation})))) + \text{goods orders} - \text{Production}) - (((((\text{Capital} - (\text{Capital} * 0.005)) / \text{avg lifetime of capital}) * (\text{relative orders fnc}((\text{Depreciation} + \text{capital adjustment} + (((\text{Depreciation} * (\text{Backlog} / \text{Production})) - \text{Supply}) / \text{supply adjust time})) / \text{Depreciation})))) + \text{goods orders} - \text{Production}))) / (2 * \text{Capital} * 0.005)}$$

adjustment+(((Depreciation*(Backlog/Production))-Supply)/supply
time))/Depreciation))))+goods orders-Production))/(2* Capital *0.005)

g23p8=(((((Capital+(Capital*0.005))/avg lifetime of capital)*(relative orders
fnc((Depreciation+capital adjustment+(((Depreciation*(Backlog/Production))-Supply)/supply
adjust time))/Depreciation))) -Acquisitions)-(((Capital-(Capital*0.005))/avg lifetime of
capital)*(relative orders fnc((Depreciation+capital
adjustment+(((Depreciation*(Backlog/Production))-Supply)/supply adjust time))/Depreciation))) -
Acquisitions))/(2* Capital *0.005)

g21p9((((((Capital+(Capital*0.005))/avg lifetime of capital)*(relative orders fnc(desired
orders/Depreciation))))+goods orders-Production)-((((Capital-(Capital*0.005))/avg lifetime of
capital)*(relative orders fnc(desired orders/Depreciation))))+goods orders-Production))/(2* Capital
*0.005)

g23p9=(((((Capital+(Capital*0.005))/avg lifetime of capital)*(relative orders fnc(desired
orders/Depreciation))) -Acquisitions)-(((Capital-(Capital*0.005))/avg lifetime of capital)*(relative
orders fnc(desired orders/Depreciation))) -Acquisitions))/(2* Capital *0.005)

g32p1((((((Supply+(Supply*0.005))*Production)/Backlog)-Depreciation)-((((Supply-
(Supply*0.005))*Production)/Backlog)-Depreciation))/(2* Supply *0.005)

g33p1=((+Capital orders-(((Supply+(Supply*0.005))*Production)/Backlog))-(+Capital orders-
(((Supply-(Supply*0.005))*Production)/Backlog)))/(2* Supply *0.005)

g31p1((((Depreciation*(relative orders fnc((Depreciation+capital adjustment+((desired supply line-
(Supply+(Supply*0.005)))/supply adjust time))/Depreciation))))+goods orders-Production)-
(((Depreciation*(relative orders fnc((Depreciation+capital adjustment+((desired supply line-
(Supply-(Supply*0.005)))/supply adjust time))/Depreciation))))+goods orders-Production))/(2*
Supply *0.005)

g33p2=((+(Depreciation*(relative orders fnc((Depreciation+capital adjustment+((desired supply line-
(Supply+(Supply*0.005)))/supply adjust time))/Depreciation))) -Acquisitions)-

$$+(Depreciation*(relative\ orders\ fnc((Depreciation+capital\ adjustment+((desired\ supply\ line-(Supply-(Supply*0.005)))/supply\ adjust\ time))/Depreciation)))-Acquisitions))/(2*Supply*0.005)$$

B.6. Elasticidades para el modelo Economic Long Wave

$$ec11,1=E(1,2,1)*(g12p1)/(g12p1+g12p2)+E(1,3,1)*(g13p1)/(g13p1+g13p2+g13p3+g13p4+g13p5)$$

$$ec12,1=E(1,1,1)*(g11p1+g11p2+g11p3)/(g11p1+g11p2+g11p3+g11p4)+E(1,2,1)*(g12p2)/(g12p1+g12p2)+E(1,3,1)*(g13p2+g13p3+g13p4)/(g13p1+g13p2+g13p3+g13p4+g13p5)$$

$$ec13,1=E(1,1,1)*(g11p4)/(g11p1+g11p2+g11p3+g11p4)+E(1,3,1)*(g13p5)/(g13p1+g13p2+g13p3+g13p4+g13p5)$$

$$ec14,1=E(2,1,1)*(g21p1+g21p2)/(g21p1+g21p2+g21p3+g21p4+g21p5+g21p6+g21p7+g21p8+g21p9)+E(2,2,1)*(g22p1)/(g22p1+g22p2+g22p3)+E(2,3,1)*(g23p1+g23p2)/(g23p1+g23p2+g23p3+g23p4+g23p5+g23p6+g23p7+g23p8+g23p9)$$

$$ec15,1=E(2,1,1)*(g21p3+g21p4)/(g21p1+g21p2+g21p3+g21p4+g21p5+g21p6+g21p7+g21p8+g21p9)+E(2,2,1)*(g22p2)/(g22p1+g22p2+g22p3)+E(2,3,1)*(g23p3+g23p4)/(g23p1+g23p2+g23p3+g23p4+g23p5+g23p6+g23p7+g23p8+g23p9)$$

$$ec16,1=E(1,1,1)*(g11p1+g11p2)/(g11p1+g11p2+g11p3+g11p4)+E(1,2,1)*(g12p2)/(g12p1+g12p2)+E(1,3,1)*(g13p2+g13p3)/(g13p1+g13p2+g13p3+g13p4+g13p5)+E(2,1,1)*(g21p1+g21p2)/(g21p1+g21p2+g21p3+g21p4+g21p5+g21p6+g21p7+g21p8+g21p9)+E(2,2,1)*(g22p1)/(g22p1+g22p2+g22p3)+E(2,3,1)*(g23p1+g23p2)/(g23p1+g23p2+g23p3+g23p4+g23p5+g23p6+g23p7+g23p8+g23p9)$$

$$ec17,1=E(2,1,1)*(g21p1+g21p2+g21p3+g21p4)/(g21p1+g21p2+g21p3+g21p4+g21p5+g21p6+g21p7+g21p8+g21p9)+E(2,2,1)*(g22p1+g22p2)/(g22p1+g22p2+g22p3)+E(2,3,1)*(g23p1+g23p2+g23p3+g23p4)/(g23p1+g23p2+g23p3+g23p4+g23p5+g23p6+g23p7+g23p8+g23p9)$$

$$ec18,1=E(2,1,1)*(g21p5)/(g21p1+g21p2+g21p3+g21p4+g21p5+g21p6+g21p7+g21p8+g21p9)+E(2,3,1)*(g23p5)/(g23p1+g23p2+g23p3+g23p4+g23p5+g23p6+g23p7+g23p8+g23p9)$$

$$ec19,1=E(2,1,1)*(g21p6+g21p7+g21p8+g21p9)/(g21p1+g21p2+g21p3+g21p4+g21p5+g21p6+g21p7+g21p8+g21p9)+E(2,2,1)*(g22p3)/(g22p1+g22p2+g22p3)+E(2,3,1)*(g23p6+g23p7+g23p8+g23p9)/(g23p1+g23p2+g23p3+g23p4+g23p5+g23p6+g23p7+g23p8+g23p9)$$

$$ec10,1=E(1,1,1)*(g11p3)/(g11p1+g11p2+g11p3+g11p4)+E(1,3,1)*(g13p4)/(g13p1+g13p2+g13p3+g13p4+g13p5)+E(2,1,1)*(g21p5)/(g21p1+g21p2+g21p3+g21p4+g21p5+g21p6+g21p7+g21p8+g21p9)+E(2,3,1)*(g23p5)/(g23p1+g23p2+g23p3+g23p4+g23p5+g23p6+g23p7+g23p8+g23p9)$$

$$\begin{aligned}
ecl11,1 &= E(1,1,1) * (g11p2 + g11p3 + g11p4) / (g11p1 + g11p2 + g11p3 + g11p4) + E(2,1,1) * (g21p2 + g21p4 + g21p5 + g21p6 + g21p7 + g21p8 + g21p9) / (g21p1 + g21p2 + g21p3 + g21p4 + g21p5 + g21p6 + g21p7 + g21p8 + g21p9) + E(3,1,1) * (g31p1) / (g31p1) \\
ecl12,1 &= E(2,1,1) * (g21p6) / (g21p1 + g21p2 + g21p3 + g21p4 + g21p5 + g21p6 + g21p7 + g21p8 + g21p9) + E(2,3,1) * (g23p6) / (g23p1 + g23p2 + g23p3 + g23p4 + g23p5 + g23p6 + g23p7 + g23p8 + g23p9) \\
ecl13,1 &= E(2,1,1) * (g21p7) / (g21p1 + g21p2 + g21p3 + g21p4 + g21p5 + g21p6 + g21p7 + g21p8 + g21p9) + E(2,3,1) * (g23p7) / (g23p1 + g23p2 + g23p3 + g23p4 + g23p5 + g23p6 + g23p7 + g23p8 + g23p9) \\
ecl14,1 &= E(2,1,1) * (g21p8) / (g21p1 + g21p2 + g21p3 + g21p4 + g21p5 + g21p6 + g21p7 + g21p8 + g21p9) + E(2,3,1) * (g23p8) / (g23p1 + g23p2 + g23p3 + g23p4 + g23p5 + g23p6 + g23p7 + g23p8 + g23p9) \\
ecl15,1 &= E(2,1,1) * (g21p9) / (g21p1 + g21p2 + g21p3 + g21p4 + g21p5 + g21p6 + g21p7 + g21p8 + g21p9) + E(2,3,1) * (g23p9) / (g23p1 + g23p2 + g23p3 + g23p4 + g23p5 + g23p6 + g23p7 + g23p8 + g23p9) \\
ecl16,1 &= E(1,1,1) * (g11p3) / (g11p1 + g11p2 + g11p3 + g11p4) + E(1,3,1) * (g13p4) / (g13p1 + g13p2 + g13p3 + g13p4 + g13p5) \\
ecl17,1 &= E(1,1,1) * (g11p2 + g11p3 + g11p4) / (g11p1 + g11p2 + g11p3 + g11p4) + E(1,3,1) * (g13p3 + g13p4 + g13p5) / (g13p1 + g13p2 + g13p3 + g13p4 + g13p5) + E(2,1,1) * (g21p2 + g21p4 + g21p5 + g21p7 + g21p8) / (g21p1 + g21p2 + g21p3 + g21p4 + g21p5 + g21p6 + g21p7 + g21p8 + g21p9) + E(2,3,1) * (g23p2 + g23p4 + g23p5 + g23p7 + g23p8) / (g23p1 + g23p2 + g23p3 + g23p4 + g23p5 + g23p6 + g23p7 + g23p8 + g23p9) + E(3,1,1) * (g31p1) / (g31p1) + E(3,3,1) * (g33p2) / (g33p1 + g33p2) \\
ecl18,1 &= E(1,1,1) * (g11p1 + g11p2) / (g11p1 + g11p2 + g11p3 + g11p4) + E(1,2,1) * (g12p2) / (g12p1 + g12p2) + E(1,3,1) * (g13p2 + g13p3) / (g13p1 + g13p2 + g13p3 + g13p4 + g13p5) \\
ecl19,1 &= E(1,1,1) * (g11p3) / (g11p1 + g11p2 + g11p3 + g11p4) + E(1,3,1) * (g13p4) / (g13p1 + g13p2 + g13p3 + g13p4 + g13p5) \\
ecl20,1 &= E(1,1,1) * (g11p2 + g11p4) / (g11p1 + g11p2 + g11p3 + g11p4) + E(1,3,1) * (g13p3 + g13p5) / (g13p1 + g13p2 + g13p3 + g13p4 + g13p5) + E(2,1,1) * (g21p2 + g21p4 + g21p8) / (g21p1 + g21p2 + g21p3 + g21p4 + g21p5 + g21p6 + g21p7 + g21p8 + g21p9) + E(2,3,1) * (g23p2 + g23p4 + g23p8) / (g23p1 + g23p2 + g23p3 + g23p4 + g23p5 + g23p6 + g23p7 + g23p8 + g23p9) \\
ecl21,1 &= E(1,2,1) * (g12p2) / (g12p1 + g12p2) + E(1,3,1) * (g13p2) / (g13p1 + g13p2 + g13p3 + g13p4 + g13p5) + E(2,2,1) * (g22p1 + g22p2) / (g22p1 + g22p2 + g22p3) + E(2,3,1) * (g23p1 + g23p3) / (g23p1 + g23p2 + g23p3 + g23p4 + g23p5 + g23p6 + g23p7 + g23p8 + g23p9) \\
ecl22,1 &= E(1,1,1) * (g11p2) / (g11p1 + g11p2 + g11p3 + g11p4) + E(1,3,1) * (g13p3) / (g13p1 + g13p2 + g13p3 + g13p4 + g13p5) + E(2,1,1) * (g21p2 + g21p4) / (g21p1 + g21p2 + g21p3 + g21p4 + g21p5 + g21p6 + g21p7 + g21p8 + g21p9) + E(2,3,1) * (g23p2 + g23p4) / (g23p1 + g23p2 + g23p3 + g23p4 + g23p5 + g23p6 + g23p7 + g23p8 + g23p9)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
ecl23,1 &= E(1,1,1) * (g11p2 + g11p3 + g11p4) / (g11p1 + g11p2 + g11p3 + g11p4) + E(1,3,1) * (g13p3 + g13p4 + g13p5) / (g13p1 + g13p2 + g13p3 + g13p4 + g13p5) + E(2,1,1) * (g21p2 + g21p4 + g21p5 + g21p7 + g21p8 + g21p9) / (g21p1 + g21p2 + g21p3 + g21p4 + g21p5 + g21p6 + g21p7 + g21p8 + g21p9) + E(2,3,1) * (g23p2 + g23p4 + g23p5 + g23p7 + g23p8 + g23p9) / (g23p1 + g23p2 + g23p3 + g23p4 + g23p5 + g23p6 + g23p7 + g23p8 + g23p9) + E(3,1,1) * (g31p1) / (g31p1) + E(3,3,1) * (g33p2) / (g33p1 + g33p2) \\
ecl24,1 &= E(3,2,1) * (g32p1) / (g32p1) + E(3,3,1) * (g33p1) / (g33p1 + g33p2) \\
ecl25,1 &= E(3,1,1) * (g31p1) / (g31p1) + E(3,3,1) * (g33p2) / (g33p1 + g33p2) \\
ecl26,1 &= E(1,1,1) * (g11p2 + g11p4) / (g11p1 + g11p2 + g11p3 + g11p4) + E(1,3,1) * (g13p3 + g13p5) / (g13p1 + g13p2 + g13p3 + g13p4 + g13p5) + E(2,1,1) * (g21p2 + g21p4 + g21p8) / (g21p1 + g21p2 + g21p3 + g21p4 + g21p5 + g21p6 + g21p7 + g21p8 + g21p9) + E(2,3,1) * (g23p2 + g23p4 + g23p8) / (g23p1 + g23p2 + g23p3 + g23p4 + g23p5 + g23p6 + g23p7 + g23p8 + g23p9) + E(3,1,1) * (g31p1) / (g31p1) + E(3,3,1) * (g33p2) / (g33p1 + g33p2) \\
ecl1,2 &= E(1,2,2) * (g12p1) / (g12p1 + g12p2) + E(1,3,2) * (g13p1) / (g13p1 + g13p2 + g13p3 + g13p4 + g13p5) \\
ecl2,2 &= E(1,1,2) * (g11p1 + g11p2 + g11p3) / (g11p1 + g11p2 + g11p3 + g11p4) + E(1,2,2) * (g12p2) / (g12p1 + g12p2) + E(1,3,2) * (g13p2 + g13p3 + g13p4) / (g13p1 + g13p2 + g13p3 + g13p4 + g13p5) \\
ecl3,2 &= E(1,1,2) * (g11p4) / (g11p1 + g11p2 + g11p3 + g11p4) + E(1,3,2) * (g13p5) / (g13p1 + g13p2 + g13p3 + g13p4 + g13p5) \\
ecl4,2 &= E(2,1,2) * (g21p1 + g21p2) / (g21p1 + g21p2 + g21p3 + g21p4 + g21p5 + g21p6 + g21p7 + g21p8 + g21p9) + E(2,2,2) * (g22p1) / (g22p1 + g22p2 + g22p3) + E(2,3,2) * (g23p1 + g23p2) / (g23p1 + g23p2 + g23p3 + g23p4 + g23p5 + g23p6 + g23p7 + g23p8 + g23p9) \\
ecl5,2 &= E(2,1,2) * (g21p3 + g21p4) / (g21p1 + g21p2 + g21p3 + g21p4 + g21p5 + g21p6 + g21p7 + g21p8 + g21p9) + E(2,2,2) * (g22p2) / (g22p1 + g22p2 + g22p3) + E(2,3,2) * (g23p3 + g23p4) / (g23p1 + g23p2 + g23p3 + g23p4 + g23p5 + g23p6 + g23p7 + g23p8 + g23p9) \\
ecl6,2 &= E(1,1,2) * (g11p1 + g11p2) / (g11p1 + g11p2 + g11p3 + g11p4) + E(1,2,2) * (g12p2) / (g12p1 + g12p2) + E(1,3,2) * (g13p2 + g13p3) / (g13p1 + g13p2 + g13p3 + g13p4 + g13p5) + E(2,1,2) * (g21p1 + g21p2) / (g21p1 + g21p2 + g21p3 + g21p4 + g21p5 + g21p6 + g21p7 + g21p8 + g21p9) + E(2,2,2) * (g22p1) / (g22p1 + g22p2 + g22p3) + E(2,3,2) * (g23p1 + g23p2) / (g23p1 + g23p2 + g23p3 + g23p4 + g23p5 + g23p6 + g23p7 + g23p8 + g23p9) \\
ecl7,2 &= E(2,1,2) * (g21p1 + g21p2 + g21p3 + g21p4) / (g21p1 + g21p2 + g21p3 + g21p4 + g21p5 + g21p6 + g21p7 + g21p8 + g21p9) + E(2,2,2) * (g22p1 + g22p2) / (g22p1 + g22p2 + g22p3) + E(2,3,2) * (g23p1 + g23p2 + g23p3 + g23p4) / (g23p1 + g23p2 + g23p3 + g23p4 + g23p5 + g23p6 + g23p7 + g23p8 + g23p9) \\
ecl8,2 &= E(2,1,2) * (g21p5) / (g21p1 + g21p2 + g21p3 + g21p4 + g21p5 + g21p6 + g21p7 + g21p8 + g21p9) + E(2,3,2) * (g23p5) / (g23p1 + g23p2 + g23p3 + g23p4 + g23p5 + g23p6 + g23p7 + g23p8 + g23p9)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{ec19,2} &= E(2,1,2) * (g21p6 + g21p7 + g21p8 + g21p9) / (g21p1 + g21p2 + g21p3 + g21p4 + g21p5 + g21p6 + g21p7 + g21p8 + g21p9) + E(2,2,2) * (g22p3) / (g22p1 + g22p2 + g22p3) + E(2,3,2) * (g23p6 + g23p7 + g23p8 + g23p9) / (g23p1 + g23p2 + g23p3 + g23p4 + g23p5 + g23p6 + g23p7 + g23p8 + g23p9) \\
\text{ec110,2} &= E(1,1,2) * (g11p3) / (g11p1 + g11p2 + g11p3 + g11p4) + E(1,3,2) * (g13p4) / (g13p1 + g13p2 + g13p3 + g13p4 + g13p5) + E(2,1,2) * (g21p5) / (g21p1 + g21p2 + g21p3 + g21p4 + g21p5 + g21p6 + g21p7 + g21p8 + g21p9) + E(2,3,2) * (g23p5) / (g23p1 + g23p2 + g23p3 + g23p4 + g23p5 + g23p6 + g23p7 + g23p8 + g23p9) \\
\text{ec111,2} &= E(1,1,2) * (g11p2 + g11p3 + g11p4) / (g11p1 + g11p2 + g11p3 + g11p4) + E(2,1,2) * (g21p2 + g21p4 + g21p5 + g21p6 + g21p7 + g21p8 + g21p9) / (g21p1 + g21p2 + g21p3 + g21p4 + g21p5 + g21p6 + g21p7 + g21p8 + g21p9) + E(3,1,2) * (g31p1) / (g31p1) \\
\text{ec112,2} &= E(2,1,2) * (g21p6) / (g21p1 + g21p2 + g21p3 + g21p4 + g21p5 + g21p6 + g21p7 + g21p8 + g21p9) + E(2,3,2) * (g23p6) / (g23p1 + g23p2 + g23p3 + g23p4 + g23p5 + g23p6 + g23p7 + g23p8 + g23p9) \\
\text{ec113,2} &= E(2,1,2) * (g21p7) / (g21p1 + g21p2 + g21p3 + g21p4 + g21p5 + g21p6 + g21p7 + g21p8 + g21p9) + E(2,3,2) * (g23p7) / (g23p1 + g23p2 + g23p3 + g23p4 + g23p5 + g23p6 + g23p7 + g23p8 + g23p9) \\
\text{ec114,2} &= E(2,1,2) * (g21p8) / (g21p1 + g21p2 + g21p3 + g21p4 + g21p5 + g21p6 + g21p7 + g21p8 + g21p9) + E(2,3,2) * (g23p8) / (g23p1 + g23p2 + g23p3 + g23p4 + g23p5 + g23p6 + g23p7 + g23p8 + g23p9) \\
\text{ec115,2} &= E(2,1,2) * (g21p9) / (g21p1 + g21p2 + g21p3 + g21p4 + g21p5 + g21p6 + g21p7 + g21p8 + g21p9) + E(2,3,2) * (g23p9) / (g23p1 + g23p2 + g23p3 + g23p4 + g23p5 + g23p6 + g23p7 + g23p8 + g23p9) \\
\text{ec116,2} &= E(1,1,2) * (g11p3) / (g11p1 + g11p2 + g11p3 + g11p4) + E(1,3,2) * (g13p4) / (g13p1 + g13p2 + g13p3 + g13p4 + g13p5) \\
\text{ec117,2} &= E(1,1,2) * (g11p2 + g11p3 + g11p4) / (g11p1 + g11p2 + g11p3 + g11p4) + E(1,3,2) * (g13p3 + g13p4 + g13p5) / (g13p1 + g13p2 + g13p3 + g13p4 + g13p5) + E(2,1,2) * (g21p2 + g21p4 + g21p5 + g21p7 + g21p8) / (g21p1 + g21p2 + g21p3 + g21p4 + g21p5 + g21p6 + g21p7 + g21p8 + g21p9) + E(2,3,2) * (g23p2 + g23p4 + g23p5 + g23p7 + g23p8) / (g23p1 + g23p2 + g23p3 + g23p4 + g23p5 + g23p6 + g23p7 + g23p8 + g23p9) + E(3,1,2) * (g31p1) / (g31p1) + E(3,3,2) * (g33p2) / (g33p1 + g33p2) \\
\text{ec118,2} &= E(1,1,2) * (g11p1 + g11p2) / (g11p1 + g11p2 + g11p3 + g11p4) + E(1,2,2) * (g12p2) / (g12p1 + g12p2) + E(1,3,2) * (g13p2 + g13p3) / (g13p1 + g13p2 + g13p3 + g13p4 + g13p5) \\
\text{ec119,2} &= E(1,1,2) * (g11p3) / (g11p1 + g11p2 + g11p3 + g11p4) + E(1,3,2) * (g13p4) / (g13p1 + g13p2 + g13p3 + g13p4 + g13p5) \\
\text{ec120,2} &= E(1,1,2) * (g11p2 + g11p4) / (g11p1 + g11p2 + g11p3 + g11p4) + E(1,3,2) * (g13p3 + g13p5) / (g13p1 + g13p2 + g13p3 + g13p4 + g13p5) + E(2,1,2) * (g21p2 + g21p4 + g21p8) / (g21p1 + g21p2 + g21p3 + g21p4 + g21p5 + g21p6 + g21p7 + g21p8 + g21p9) + E(2,3,2) * (g23p2 + g23p4 + g23p8) / (g23p1 + g23p2 + g23p3 + g23p4 + g23p5 + g23p6 + g23p7 + g23p8 + g23p9)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
ecl21,2 &= E(1,2,2) * (g12p2) / (g12p1 + g12p2) + E(1,3,2) * (g13p2) / (g13p1 + g13p2 + g13p3 + g13p4 + g13p5) + E \\
&(2,2,2) * (g22p1 + g22p2) / (g22p1 + g22p2 + g22p3) + E(2,3,2) * (g23p1 + g23p3) / (g23p1 + g23p2 + g23p3 + g23p \\
&4 + g23p5 + g23p6 + g23p7 + g23p8 + g23p9) \\
ecl22,2 &= E(1,1,2) * (g11p2) / (g11p1 + g11p2 + g11p3 + g11p4) + E(1,3,2) * (g13p3) / (g13p1 + g13p2 + g13p3 + g1 \\
&3p4 + g13p5) + E(2,1,2) * (g21p2 + g21p4) / (g21p1 + g21p2 + g21p3 + g21p4 + g21p5 + g21p6 + g21p7 + g21p8 + g \\
&21p9) + E(2,3,2) * (g23p2 + g23p4) / (g23p1 + g23p2 + g23p3 + g23p4 + g23p5 + g23p6 + g23p7 + g23p8 + g23p9) \\
ecl23,2 &= E(1,1,2) * (g11p2 + g11p3 + g11p4) / (g11p1 + g11p2 + g11p3 + g11p4) + E(1,3,2) * (g13p3 + g13p4 + g1 \\
&3p5) / (g13p1 + g13p2 + g13p3 + g13p4 + g13p5) + E(2,1,2) * (g21p2 + g21p4 + g21p5 + g21p7 + g21p8 + g21p9) / (\\
&g21p1 + g21p2 + g21p3 + g21p4 + g21p5 + g21p6 + g21p7 + g21p8 + g21p9) + E(2,3,2) * (g23p2 + g23p4 + g23p5 + \\
&g23p7 + g23p8 + g23p9) / (g23p1 + g23p2 + g23p3 + g23p4 + g23p5 + g23p6 + g23p7 + g23p8 + g23p9) + E(3,1,2) * \\
&(g31p1) / (g31p1) + E(3,3,2) * (g33p2) / (g33p1 + g33p2) \\
ecl24,2 &= E(3,2,2) * (g32p1) / (g32p1) + E(3,3,2) * (g33p1) / (g33p1 + g33p2) \\
ecl25,2 &= E(3,1,2) * (g31p1) / (g31p1) + E(3,3,2) * (g33p2) / (g33p1 + g33p2) \\
ecl26,2 &= E(1,1,2) * (g11p2 + g11p4) / (g11p1 + g11p2 + g11p3 + g11p4) + E(1,3,2) * (g13p3 + g13p5) / (g13p1 + g1 \\
&3p2 + g13p3 + g13p4 + g13p5) + E(2,1,2) * (g21p2 + g21p4 + g21p8) / (g21p1 + g21p2 + g21p3 + g21p4 + g21p5 + g \\
&21p6 + g21p7 + g21p8 + g21p9) + E(2,3,2) * (g23p2 + g23p4 + g23p8) / (g23p1 + g23p2 + g23p3 + g23p4 + g23p5 + \\
&g23p6 + g23p7 + g23p8 + g23p9) + E(3,1,2) * (g31p1) / (g31p1) + E(3,3,2) * (g33p2) / (g33p1 + g33p2) \\
ecl1,3 &= E(1,2,3) * (g12p1) / (g12p1 + g12p2) + E(1,3,3) * (g13p1) / (g13p1 + g13p2 + g13p3 + g13p4 + g13p5) \\
ecl2,3 &= E(1,1,3) * (g11p1 + g11p2 + g11p3) / (g11p1 + g11p2 + g11p3 + g11p4) + E(1,2,3) * (g12p2) / (g12p1 + g12 \\
&p2) + E(1,3,3) * (g13p2 + g13p3 + g13p4) / (g13p1 + g13p2 + g13p3 + g13p4 + g13p5) \\
ecl3,3 &= E(1,1,3) * (g11p4) / (g11p1 + g11p2 + g11p3 + g11p4) + E(1,3,3) * (g13p5) / (g13p1 + g13p2 + g13p3 + g13 \\
&p4 + g13p5) \\
ecl4,3 &= E(2,1,3) * (g21p1 + g21p2) / (g21p1 + g21p2 + g21p3 + g21p4 + g21p5 + g21p6 + g21p7 + g21p8 + g21p9) \\
&+ E(2,2,3) * (g22p1) / (g22p1 + g22p2 + g22p3) + E(2,3,3) * (g23p1 + g23p2) / (g23p1 + g23p2 + g23p3 + g23p4 + g \\
&23p5 + g23p6 + g23p7 + g23p8 + g23p9) \\
ecl5,3 &= E(2,1,3) * (g21p3 + g21p4) / (g21p1 + g21p2 + g21p3 + g21p4 + g21p5 + g21p6 + g21p7 + g21p8 + g21p9) \\
&+ E(2,2,3) * (g22p2) / (g22p1 + g22p2 + g22p3) + E(2,3,3) * (g23p3 + g23p4) / (g23p1 + g23p2 + g23p3 + g23p4 + g \\
&23p5 + g23p6 + g23p7 + g23p8 + g23p9) \\
ecl6,3 &= E(1,1,3) * (g11p1 + g11p2) / (g11p1 + g11p2 + g11p3 + g11p4) + E(1,2,3) * (g12p2) / (g12p1 + g12p2) + E(\\
&1,3,3) * (g13p2 + g13p3) / (g13p1 + g13p2 + g13p3 + g13p4 + g13p5) + E(2,1,3) * (g21p1 + g21p2) / (g21p1 + g21p \\
&2 + g21p3 + g21p4 + g21p5 + g21p6 + g21p7 + g21p8 + g21p9) + E(2,2,3) * (g22p1) / (g22p1 + g22p2 + g22p3) + E(2 \\
&,3,3) * (g23p1 + g23p2) / (g23p1 + g23p2 + g23p3 + g23p4 + g23p5 + g23p6 + g23p7 + g23p8 + g23p9)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
ecl7,3 &= E(2,1,3) * (g21p1 + g21p2 + g21p3 + g21p4) / (g21p1 + g21p2 + g21p3 + g21p4 + g21p5 + g21p6 + g21p7 + g21p8 + g21p9) + E(2,2,3) * (g22p1 + g22p2) / (g22p1 + g22p2 + g22p3) + E(2,3,3) * (g23p1 + g23p2 + g23p3 + g23p4) / (g23p1 + g23p2 + g23p3 + g23p4 + g23p5 + g23p6 + g23p7 + g23p8 + g23p9) \\
ecl8,3 &= E(2,1,3) * (g21p5) / (g21p1 + g21p2 + g21p3 + g21p4 + g21p5 + g21p6 + g21p7 + g21p8 + g21p9) + E(2,3,3) * (g23p5) / (g23p1 + g23p2 + g23p3 + g23p4 + g23p5 + g23p6 + g23p7 + g23p8 + g23p9) \\
ecl9,3 &= E(2,1,3) * (g21p6 + g21p7 + g21p8 + g21p9) / (g21p1 + g21p2 + g21p3 + g21p4 + g21p5 + g21p6 + g21p7 + g21p8 + g21p9) + E(2,2,3) * (g22p3) / (g22p1 + g22p2 + g22p3) + E(2,3,3) * (g23p6 + g23p7 + g23p8 + g23p9) / (g23p1 + g23p2 + g23p3 + g23p4 + g23p5 + g23p6 + g23p7 + g23p8 + g23p9) \\
ecl10,3 &= E(1,1,3) * (g11p3) / (g11p1 + g11p2 + g11p3 + g11p4) + E(1,3,3) * (g13p4) / (g13p1 + g13p2 + g13p3 + g13p4 + g13p5) + E(2,1,3) * (g21p5) / (g21p1 + g21p2 + g21p3 + g21p4 + g21p5 + g21p6 + g21p7 + g21p8 + g21p9) + E(2,3,3) * (g23p5) / (g23p1 + g23p2 + g23p3 + g23p4 + g23p5 + g23p6 + g23p7 + g23p8 + g23p9) \\
ecl11,3 &= E(1,1,3) * (g11p2 + g11p3 + g11p4) / (g11p1 + g11p2 + g11p3 + g11p4) + E(2,1,3) * (g21p2 + g21p4 + g21p5 + g21p6 + g21p7 + g21p8 + g21p9) / (g21p1 + g21p2 + g21p3 + g21p4 + g21p5 + g21p6 + g21p7 + g21p8 + g21p9) + E(3,1,3) * (g31p1) / (g31p1) \\
ecl12,3 &= E(2,1,3) * (g21p6) / (g21p1 + g21p2 + g21p3 + g21p4 + g21p5 + g21p6 + g21p7 + g21p8 + g21p9) + E(2,3,3) * (g23p6) / (g23p1 + g23p2 + g23p3 + g23p4 + g23p5 + g23p6 + g23p7 + g23p8 + g23p9) \\
ecl13,3 &= E(2,1,3) * (g21p7) / (g21p1 + g21p2 + g21p3 + g21p4 + g21p5 + g21p6 + g21p7 + g21p8 + g21p9) + E(2,3,3) * (g23p7) / (g23p1 + g23p2 + g23p3 + g23p4 + g23p5 + g23p6 + g23p7 + g23p8 + g23p9) \\
ecl14,3 &= E(2,1,3) * (g21p8) / (g21p1 + g21p2 + g21p3 + g21p4 + g21p5 + g21p6 + g21p7 + g21p8 + g21p9) + E(2,3,3) * (g23p8) / (g23p1 + g23p2 + g23p3 + g23p4 + g23p5 + g23p6 + g23p7 + g23p8 + g23p9) \\
ecl15,3 &= E(2,1,3) * (g21p9) / (g21p1 + g21p2 + g21p3 + g21p4 + g21p5 + g21p6 + g21p7 + g21p8 + g21p9) + E(2,3,3) * (g23p9) / (g23p1 + g23p2 + g23p3 + g23p4 + g23p5 + g23p6 + g23p7 + g23p8 + g23p9) \\
ecl16,3 &= E(1,1,3) * (g11p3) / (g11p1 + g11p2 + g11p3 + g11p4) + E(1,3,3) * (g13p4) / (g13p1 + g13p2 + g13p3 + g13p4 + g13p5) \\
ecl17,3 &= E(1,1,3) * (g11p2 + g11p3 + g11p4) / (g11p1 + g11p2 + g11p3 + g11p4) + E(1,3,3) * (g13p3 + g13p4 + g13p5) / (g13p1 + g13p2 + g13p3 + g13p4 + g13p5) + E(2,1,3) * (g21p2 + g21p4 + g21p5 + g21p7 + g21p8) / (g21p1 + g21p2 + g21p3 + g21p4 + g21p5 + g21p6 + g21p7 + g21p8 + g21p9) + E(2,3,3) * (g23p2 + g23p4 + g23p5 + g23p7 + g23p8) / (g23p1 + g23p2 + g23p3 + g23p4 + g23p5 + g23p6 + g23p7 + g23p8 + g23p9) + E(3,1,3) * (g31p1) / (g31p1) + E(3,3,3) * (g33p2) / (g33p1 + g33p2) \\
ecl18,3 &= E(1,1,3) * (g11p1 + g11p2) / (g11p1 + g11p2 + g11p3 + g11p4) + E(1,2,3) * (g12p2) / (g12p1 + g12p2) + E(1,3,3) * (g13p2 + g13p3) / (g13p1 + g13p2 + g13p3 + g13p4 + g13p5) \\
ecl19,3 &= E(1,1,3) * (g11p3) / (g11p1 + g11p2 + g11p3 + g11p4) + E(1,3,3) * (g13p4) / (g13p1 + g13p2 + g13p3 + g13p4 + g13p5)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
ecl20,3 &= E(1,1,3) * (g11p2 + g11p4) / (g11p1 + g11p2 + g11p3 + g11p4) + E(1,3,3) * (g13p3 + g13p5) / (g13p1 + g13p2 + g13p3 + g13p4 + g13p5) + E(2,1,3) * (g21p2 + g21p4 + g21p8) / (g21p1 + g21p2 + g21p3 + g21p4 + g21p5 + g21p6 + g21p7 + g21p8 + g21p9) + E(2,3,3) * (g23p2 + g23p4 + g23p8) / (g23p1 + g23p2 + g23p3 + g23p4 + g23p5 + g23p6 + g23p7 + g23p8 + g23p9) \\
ecl21,3 &= E(1,2,3) * (g12p2) / (g12p1 + g12p2) + E(1,3,3) * (g13p2) / (g13p1 + g13p2 + g13p3 + g13p4 + g13p5) + E(2,2,3) * (g22p1 + g22p2) / (g22p1 + g22p2 + g22p3) + E(2,3,3) * (g23p1 + g23p3) / (g23p1 + g23p2 + g23p3 + g23p4 + g23p5 + g23p6 + g23p7 + g23p8 + g23p9) \\
ecl22,3 &= E(1,1,3) * (g11p2) / (g11p1 + g11p2 + g11p3 + g11p4) + E(1,3,3) * (g13p3) / (g13p1 + g13p2 + g13p3 + g13p4 + g13p5) + E(2,1,3) * (g21p2 + g21p4) / (g21p1 + g21p2 + g21p3 + g21p4 + g21p5 + g21p6 + g21p7 + g21p8 + g21p9) + E(2,3,3) * (g23p2 + g23p4) / (g23p1 + g23p2 + g23p3 + g23p4 + g23p5 + g23p6 + g23p7 + g23p8 + g23p9) \\
ecl23,3 &= E(1,1,3) * (g11p2 + g11p3 + g11p4) / (g11p1 + g11p2 + g11p3 + g11p4) + E(1,3,3) * (g13p3 + g13p4 + g13p5) / (g13p1 + g13p2 + g13p3 + g13p4 + g13p5) + E(2,1,3) * (g21p2 + g21p4 + g21p5 + g21p7 + g21p8 + g21p9) / (g21p1 + g21p2 + g21p3 + g21p4 + g21p5 + g21p6 + g21p7 + g21p8 + g21p9) + E(2,3,3) * (g23p2 + g23p4 + g23p5 + g23p7 + g23p8 + g23p9) / (g23p1 + g23p2 + g23p3 + g23p4 + g23p5 + g23p6 + g23p7 + g23p8 + g23p9) + E(3,1,3) * (g31p1) / (g31p1) + E(3,3,3) * (g33p2) / (g33p1 + g33p2) \\
ecl24,3 &= E(3,2,3) * (g32p1) / (g32p1) + E(3,3,3) * (g33p1) / (g33p1 + g33p2) \\
ecl25,3 &= E(3,1,3) * (g31p1) / (g31p1) + E(3,3,3) * (g33p2) / (g33p1 + g33p2) \\
ecl26,3 &= E(1,1,3) * (g11p2 + g11p4) / (g11p1 + g11p2 + g11p3 + g11p4) + E(1,3,3) * (g13p3 + g13p5) / (g13p1 + g13p2 + g13p3 + g13p4 + g13p5) + E(2,1,3) * (g21p2 + g21p4 + g21p8) / (g21p1 + g21p2 + g21p3 + g21p4 + g21p5 + g21p6 + g21p7 + g21p8 + g21p9) + E(2,3,3) * (g23p2 + g23p4 + g23p8) / (g23p1 + g23p2 + g23p3 + g23p4 + g23p5 + g23p6 + g23p7 + g23p8 + g23p9) + E(3,1,3) * (g31p1) / (g31p1) + E(3,3,3) * (g33p2) / (g33p1 + g33p2)
\end{aligned}$$

B.7. Nodos Identificados en el modelo de Cadena de Suministro

| <i>Node no.</i> | <i>Name</i> |
|-----------------|----------------------------------|
| 31 | Desired Distributor Units |
| 32 | Desired Export Inventory |
| 33 | Desired Export Production |
| 34 | Desired Export Shipment Rate |
| 35 | Desired Local Inventory |
| 36 | Desired Local Inventory Coverage |
| 37 | Desired Local Production |
| 38 | Desired Local Shipment Rate |

| | |
|----|---|
| 39 | Desired Material Delivery Rate |
| 40 | Desired Material Inventory |
| 41 | Desired Material Inventory Coverage |
| 42 | Desired Material Usage Rate |
| 43 | Desired Production Start Rate |
| 44 | Desired Retailer Inventory |
| 45 | Desired Retailer Inventory Coverage |
| 46 | Desired Units From Distributor |
| 47 | Desired Units From Manufacturer |
| 48 | Desired WIP |
| 49 | Distributor Delivery Delay |
| 50 | Distributor Forecast |
| 51 | Distributor Fulfillment Rate |
| 52 | Distributor Inventory |
| 53 | Distributor Maximum Shipment Rate |
| 54 | Distributor Maximum Units Rate |
| 55 | Distributor Order Fulfillment Ratio |
| 56 | Distributor Order Rate |
| 57 | Distributor Shipment Rate |
| 58 | Distributor Units On Travel |
| 59 | Distributor Units Rate |
| 60 | Export Delivery Delay |
| 61 | Export Demand Amplification Production Rate |
| 62 | Export Demand Amplification Shipment Rate |
| 63 | Export Inventory |
| 64 | Export Inventory Coverage |
| 65 | Export Maintenance Unit Cost |
| 66 | Export Order Fulfillment Ratio |
| 67 | Export Price |
| 68 | Export Shipment Rate |
| 69 | Feasible Production Starts from Materials |
| 70 | Final Local Price |

| | |
|-----|---|
| 71 | Fraction Export Shipment Rate |
| 72 | Fraction Local Shipment Cost |
| 73 | Incoming Demand |
| 74 | Incoming Export Orders |
| 75 | Incoming Local Orders |
| 76 | Incoming Units From Distributor |
| 77 | Incoming Units From Manufacturer |
| 78 | Increase Distributor Received Orders From Clients |
| 79 | Increase Export Shipment Rate |
| 80 | Increase Incoming Export Orders |
| 81 | Increase Incoming Local Orders |
| 82 | Increase Local Shipment Rate |
| 83 | Increase Manufacturer Incoming Local Orders |
| 84 | Increase Material Delivery Rate |
| 85 | Increase Production Rate Export Orders |
| 86 | Increase Production Rate Local Orders |
| 87 | Increase Production Start Rate |
| 88 | Increase Retailer Incoming Demand |
| 89 | Increase Total Orders |
| 90 | Local Delivery Delay |
| 91 | Local Demand Amplification Production Rate |
| 92 | Local Demand Amplification Shipment Rate |
| 93 | Local Forecast |
| 94 | Local Inventory |
| 95 | Local Inventory Coverage |
| 96 | Local Maintenance Unit Cost |
| 97 | Local Order Fulfillment Ratio |
| 98 | Local Shipment Rate |
| 99 | Maintenance Materials Unit Cost |
| 100 | Manufacturer Materials Quantity |
| 101 | Material Delivery Rate |
| 102 | Material Usage Rate |

| | |
|-----|---|
| 103 | Material Usage Ratio |
| 104 | Materials Average |
| 105 | Materials Cost |
| 106 | Materials Cost Rate |
| 107 | Materials Coverage |
| 108 | Materials Delay Time |
| 109 | Materials Inventory |
| 110 | Maximum Export Shipment Rate |
| 111 | Maximum Local Shipment Rate |
| 112 | Maximum Material Usage Rate |
| 113 | Maximun Production Rate |
| 114 | Miss Export Shipment Cost |
| 115 | Miss Local Shipment Cost |
| 116 | Normal Value Distributor Received Orders From Clients |
| 117 | Normal Value Export Shipment Rate |
| 118 | Normal Value Incoming Export Orders |
| 119 | Normal Value Incoming Local Orders |
| 120 | Normal Value Local Shipment Rate |
| 121 | Normal Value Manufacturer Incoming Local Orders |
| 122 | Normal Value Material Delivery Rate |
| 123 | Normal Value Production Rate Export Orders |
| 124 | Normal Value Production Rate Local Orders |
| 125 | Normal Value Production Start Rate |
| 126 | Normal Value Retailer Incoming Demand |
| 127 | Normal Value Total Orders |
| 128 | Order Export Fulfillment Rate |
| 129 | Order Export Rate |
| 130 | Order Local Fulfillment Rate |
| 131 | Order Local Rate |
| 132 | Orders and Service Processing |
| 133 | Payment Delay |
| 134 | Peak Value Distributor Orders From Clients |

| | |
|-----|---|
| 135 | Peak Value Export Shipment Rate |
| 136 | Peak Value Incoming Export Orders |
| 137 | Peak Value Incoming Local Orders |
| 138 | Peak Value Local Shipment Rate |
| 139 | Peak Value Manufacturer Incoming Local Orders |
| 140 | Peak Value Material Delivery Rate |
| 141 | Peak Value Production Rate Export Orders |
| 142 | Peak Value Production Rate Local Orders |
| 143 | Peak Value Production Start Rate |
| 144 | Peak Value Retailer Incoming Demand |
| 145 | Peak Value Total Orders |
| 146 | Perceived Change Material Rate |
| 147 | Production and Maintenance Cost |
| 148 | Production Capacity |
| 149 | Production Coverage |
| 150 | Production Plan |
| 151 | Production Rate For Export Orders |
| 152 | Production Rate For Local Orders |
| 153 | Production Start Rate |
| 154 | Real Profit |
| 155 | Received Orders From Clients |
| 156 | Relation Between Desired Productions |
| 157 | Required Material |
| 158 | Retailer Backlog for Orders |
| 159 | Retailer Delivery Delay |
| 160 | Retailer Forecast |
| 161 | Retailer Fulfillment Rate |
| 162 | Retailer Inventory |
| 163 | Retailer Maximum Shipment Rate |
| 164 | Retailer Order Fulfillment Ratio |
| 165 | Retailer Order Rate |
| 166 | Retailer Shipment Rate |

| | |
|-----|------------------------------------|
| 167 | Table Discount |
| 168 | Table For Distributor Orders |
| 169 | Table for Export Order Fulfillment |
| 170 | Table For Inventory |
| 171 | Table for Local Order Fulfillment |
| 172 | Table for Material Usage |
| 173 | Table for Materials Cost |
| 174 | Table For Payment |
| 175 | Table for Production |
| 176 | Total Cash Rate |
| 177 | Total Export Maintenance Cost |
| 178 | Total Export Shipment Cost |
| 179 | Total Inventory |
| 180 | Total Local Maintenance Cost |
| 181 | Total Local Miss Shipment Cost |
| 182 | Total Maintenance Materials Cost |
| 183 | Total Manufacturing Cost |
| 184 | Total Production |
| 185 | Total Sales |
| 186 | Work in Process Inventory |

B.8. Enlaces Causales Identificados en el modelo de Cadena de Suministro

| Link no. | Variable Sequence |
|----------|---|
| 1 | Adjustment for Material Inventory-Desired Material Delivery Rate |
| 2 | Adjustment for WIP-Desired Production Start Rate |
| 3 | Adjustment From Distributor Inventory-Desired Distributor Units |
| 4 | Adjustment From Distributor Units on Travel-Desired Units From Manufacturer |
| 5 | Adjustment from Export Inventory-Desired Export Production |
| 6 | Adjustment from Local Inventory-Desired Local Production |
| 7 | Adjustment From Retailer Inventory-Desired Units From Distributor |
| 8 | Backlog Export Orders-Desired Export Inventory |

| | |
|----|--|
| 9 | Backlog Export Orders-Desired Export Shipment Rate |
| 10 | Backlog Export Orders-Export Delivery Delay |
| 11 | Backlog for Distributor Orders-Desired Distributor Shipment Rate |
| 12 | Backlog for Distributor Orders-Distributor Delivery Delay |
| 13 | Backlog Local Orders-Desired Local Shipment Rate |
| 14 | Backlog Local Orders-Local Delivery Delay |
| 15 | Demand Amplification Material Delivery-Constrain 1 |
| 16 | Demand Amplification Production Start Rate-Constrain 2 |
| 17 | "Demand Amplification Retailer - Distributor"-Constrain 8 |
| 18 | "Demand Amplification Retailer - Manufacturer"-Constrain 9 |
| 19 | Desired Distributor Incoming Units-Adjustment From Distributor Units on Travel |
| 20 | Desired Distributor Inventory-Adjustment From Distributor Inventory |
| 21 | Desired Distributor Inventory Coverage-Desired Distributor Inventory |
| 22 | Desired Distributor Shipment Rate-Distributor Order Fulfillment Ratio |
| 23 | Desired Distributor Shipment Rate-Distributor Shipment Rate |
| 24 | Desired Distributor Units-Desired Distributor Incoming Units |
| 25 | Desired Export Inventory-Adjustment from Export Inventory |
| 26 | Desired Export Production-Desired WIP |
| 27 | Desired Export Production-Relation Between Desired Productions |
| 28 | Desired Export Shipment Rate-Export Order Fulfillment Ratio |
| 29 | Desired Export Shipment Rate-Export Shipment Rate |
| 30 | Desired Export Shipment Rate-Total Export Shipment Cost |
| 31 | Desired Local Inventory-Adjustment from Local Inventory |
| 32 | Desired Local Inventory Coverage-Desired Local Inventory |
| 33 | Desired Local Production-Desired WIP |
| 34 | Desired Local Production-Relation Between Desired Productions |
| 35 | Desired Local Shipment Rate-Local Order Fulfillment Ratio |
| 36 | Desired Local Shipment Rate-Local Shipment Rate |
| 37 | Desired Local Shipment Rate-Total Local Miss Shipment Cost |
| 38 | Desired Material Delivery Rate-Manufacturer Materials Quantity |
| 39 | Desired Material Inventory-Adjustment for Material Inventory |

| | |
|----|---|
| 40 | Desired Material Inventory Coverage-Desired Material Inventory |
| 41 | Desired Material Usage Rate-Desired Material Inventory |
| 42 | Desired Material Usage Rate-Material Usage Rate |
| 43 | Desired Material Usage Rate-Material Usage Ratio |
| 44 | Desired Production Start Rate-Production Plan |
| 45 | Desired Retailer Inventory-Adjustment From Retailer Inventory |
| 46 | Desired Retailer Inventory Coverage-Desired Retailer Inventory |
| 47 | Desired Units From Distributor-Received Orders From Clients |
| 48 | Desired Units From Manufacturer-Incoming Local Orders |
| 49 | Desired WIP-Adjustment for WIP |
| 50 | Distributor Forecast-Change Distributor Incoming Orders |
| 51 | Distributor Forecast-Desired Distributor Inventory |
| 52 | Distributor Fulfillment Rate-Distributor Delivery Delay |
| 53 | Distributor Fulfillment Rate-Incoming Units From Distributor |
| 54 | Distributor Inventory-Adjustment From Distributor Inventory |
| 55 | Distributor Inventory-Distributor Maximum Shipment Rate |
| 56 | Distributor Maximum Shipment Rate-Distributor Order Fulfillment Ratio |
| 57 | Distributor Maximum Units Rate-Distributor Units Rate |
| 58 | Distributor Order Fulfillment Ratio-Distributor Shipment Rate |
| 59 | Distributor Shipment Rate-Distributor Fulfillment Rate |
| 60 | Distributor Units On Travel-Adjustment From Distributor Units on Travel |
| 61 | Distributor Units On Travel-Distributor Maximum Units Rate |
| 62 | Export Delivery Delay-Fraction Export Shipment Rate |
| 63 | Export Demand Amplification Production Rate-Constrain 5 |
| 64 | Export Demand Amplification Shipment Rate-Constrain 6 |
| 65 | Export Inventory-Adjustment from Export Inventory |
| 66 | Export Inventory-Export Inventory Coverage |
| 67 | Export Inventory-Maximum Export Shipment Rate |
| 68 | Export Inventory-Total Export Maintenance Cost |
| 69 | Export Inventory-Total Inventory |
| 70 | Export Maintenance Unit Cost-Total Export Maintenance Cost |

| | |
|-----|---|
| 71 | Export Order Fulfillment Ratio-Export Shipment Rate |
| 72 | Export Price-Total Cash Rate |
| 73 | Export Shipment Rate-Export Inventory Coverage |
| 74 | Export Shipment Rate-Export Price |
| 75 | Export Shipment Rate-Normal Value Export Shipment Rate |
| 76 | Export Shipment Rate-Order Export Fulfillment Rate |
| 77 | Export Shipment Rate-Peak Value Export Shipment Rate |
| 78 | Export Shipment Rate-Total Cash Rate |
| 79 | Export Shipment Rate-Total Export Shipment Cost |
| 80 | Feasible Production Starts from Materials-Production Start Rate |
| 81 | Final Local Price-Total Cash Rate |
| 82 | Fraction Export Shipment Rate-Miss Export Shipment Cost |
| 83 | Fraction Local Shipment Cost-Miss Local Shipment Cost |
| 84 | Incoming Demand-Change Retailer Incoming Demand |
| 85 | Incoming Demand-Normal Value Retailer Incoming Demand |
| 86 | Incoming Demand-Peak Value Retailer Incoming Demand |
| 87 | Incoming Demand-Retailer Order Rate |
| 88 | Incoming Local Orders-Change in Fcasted Orders |
| 89 | Incoming Local Orders-Normal Value Incoming Local Orders |
| 90 | Incoming Local Orders-Normal Value Manufacturer Incoming Local Orders |
| 91 | Incoming Local Orders-Order Local Rate |
| 92 | Incoming Local Orders-Peak Value Incoming Local Orders |
| 93 | Incoming Local Orders-Peak Value Manufacturer Incoming Local Orders |
| 94 | Incoming Local Orders-Peak Value Total Orders |
| 95 | Increase Distributor Received Orders From Clients-"Demand Amplification Retailer - Distributor" |
| 96 | Increase Export Shipment Rate-Export Demand Amplification Shipment Rate |
| 97 | Increase Incoming Export Orders-Export Demand Amplification Production Rate |
| 98 | Increase Incoming Export Orders-Export Demand Amplification Shipment Rate |
| 99 | Increase Incoming Local Orders-Local Demand Amplification Production Rate |
| 100 | Increase Incoming Local Orders-Local Demand Amplification Shipment Rate |

| | |
|-----|--|
| 101 | Increase Local Shipment Rate-Local Demand Amplification Shipment Rate |
| 102 | Increase Manufacturer Incoming Local Orders-"Demand Amplification Retailer - Manufacturer" |
| 103 | Increase Material Delivery Rate-Demand Amplification Material Delivery |
| 104 | Increase Production Rate Export Orders-Export Demand Amplification Production Rate |
| 105 | Increase Production Rate Local Orders-Local Demand Amplification Production Rate |
| 106 | Increase Production Start Rate-Demand Amplification Production Start Rate |
| 107 | Increase Retailer Incoming Demand-"Demand Amplification Retailer - Distributor" |
| 108 | Increase Retailer Incoming Demand-"Demand Amplification Retailer - Manufacturer" |
| 109 | Increase Total Orders-Demand Amplification Material Delivery |
| 110 | Increase Total Orders-Demand Amplification Production Start Rate |
| 111 | Local Delivery Delay-Fraction Local Shipment Cost |
| 112 | Local Demand Amplification Production Rate-Constrain 3 |
| 113 | Local Demand Amplification Shipment Rate-Constrain 4 |
| 114 | Local Forecast-Change in Fcasted Orders |
| 115 | Local Forecast-Desired Local Inventory |
| 116 | Local Inventory-Adjustment from Local Inventory |
| 117 | Local Inventory-Local Inventory Coverage |
| 118 | Local Inventory-Maximum Local Shipment Rate |
| 119 | Local Inventory-Total Inventory |
| 120 | Local Inventory-Total Local Maintenance Cost |
| 121 | Local Maintenance Unit Cost-Total Local Maintenance Cost |
| 122 | Local Order Fulfillment Ratio-Local Shipment Rate |
| 123 | Local Shipment Rate-Final Local Price |
| 124 | Local Shipment Rate-Local Inventory Coverage |
| 125 | Local Shipment Rate-Normal Value Local Shipment Rate |
| 126 | Local Shipment Rate-Order Local Fulfillment Rate |
| 127 | Local Shipment Rate-Peak Value Local Shipment Rate |
| 128 | Local Shipment Rate-Total Cash Rate |
| 129 | Local Shipment Rate-Total Local Miss Shipment Cost |
| 130 | Maintenance Materials Unit Cost-Total Maintenance Materials Cost |

| | |
|-----|---|
| 131 | Manufacturer Materials Quantity-Material Delivery Rate |
| 132 | Manufacturer Materials Quantity-Materials Cost |
| 133 | Manufacturer Materials Quantity-Payment Delay |
| 134 | Material Delivery Rate-Materials Cost Rate |
| 135 | Material Delivery Rate-Normal Value Material Delivery Rate |
| 136 | Material Delivery Rate-Peak Value Material Delivery Rate |
| 137 | Material Usage Rate-Feasible Production Starts from Materials |
| 138 | Material Usage Rate-Materials Coverage |
| 139 | Material Usage Rate-Perceived Change Material Rate |
| 140 | Material Usage Ratio-Material Usage Rate |
| 141 | Materials Average-Perceived Change Material Rate |
| 142 | Materials Average-Required Material |
| 143 | Materials Cost-Maintenance Materials Unit Cost |
| 144 | Materials Cost-Materials Cost Rate |
| 145 | Materials Cost Rate-Actual Manufacturing Cost |
| 146 | Materials Cost Rate-Actual Profit |
| 147 | Materials Delay Time-Material Delivery Rate |
| 148 | Materials Inventory-Adjustment for Material Inventory |
| 149 | Materials Inventory-Materials Coverage |
| 150 | Materials Inventory-Maximum Material Usage Rate |
| 151 | Materials Inventory-Total Maintenance Materials Cost |
| 152 | Maximum Export Shipment Rate-Export Order Fulfillment Ratio |
| 153 | Maximum Local Shipment Rate-Local Order Fulfillment Ratio |
| 154 | Maximum Material Usage Rate-Material Usage Ratio |
| 155 | Maximum Material Usage Rate-Required Material |
| 156 | Maximum Production Rate-Production Rate For Export Orders |
| 157 | Maximum Production Rate-Production Rate For Local Orders |
| 158 | Miss Export Shipment Cost-Total Export Shipment Cost |
| 159 | Miss Local Shipment Cost-Total Local Miss Shipment Cost |
| 160 | Normal Value Distributor Received Orders From Clients-Increase Distributor Received Orders From Clients |

| | |
|-----|--|
| 161 | Normal Value Export Shipment Rate-Increase Export Shipment Rate |
| 162 | Normal Value Incoming Export Orders-Increase Incoming Export Orders |
| 163 | Normal Value Incoming Local Orders-Increase Incoming Local Orders |
| 164 | Normal Value Local Shipment Rate-Increase Local Shipment Rate |
| 165 | Normal Value Manufacturer Incoming Local Orders-Increase Manufacturer Incoming Local Orders |
| 166 | Normal Value Material Delivery Rate-Increase Material Delivery Rate |
| 167 | Normal Value Production Rate Export Orders-Increase Production Rate Export Orders |
| 168 | Normal Value Production Rate Local Orders-Increase Production Rate Local Orders |
| 169 | Normal Value Production Start Rate-Increase Production Start Rate |
| 170 | Normal Value Retailer Incoming Demand-Increase Retailer Incoming Demand |
| 171 | Normal Value Total Orders-Increase Total Orders |
| 172 | Order Export Fulfillment Rate-Export Delivery Delay |
| 173 | Order Local Fulfillment Rate-Incoming Units From Manufacturer |
| 174 | Order Local Fulfillment Rate-Local Delivery Delay |
| 175 | Orders and Service Processing-Actual Manufacturing Cost |
| 176 | Orders and Service Processing-Actual Profit |
| 177 | Payment Delay-Materials Delay Time |
| 178 | Peak Value Distributor Orders From Clients-Increase Distributor Received Orders From Clients |
| 179 | Peak Value Export Shipment Rate-Increase Export Shipment Rate |
| 180 | Peak Value Incoming Export Orders-Increase Incoming Export Orders |
| 181 | Peak Value Incoming Local Orders-Increase Incoming Local Orders |
| 182 | Peak Value Local Shipment Rate-Increase Local Shipment Rate |
| 183 | Peak Value Manufacturer Incoming Local Orders-Increase Manufacturer Incoming Local Orders |
| 184 | Peak Value Material Delivery Rate-Increase Material Delivery Rate |
| 185 | Peak Value Production Rate Export Orders-Increase Production Rate Export Orders |
| 186 | Peak Value Production Rate Local Orders-Increase Production Rate Local Orders |
| 187 | Peak Value Production Start Rate-Increase Production Start Rate |
| 188 | Peak Value Retailer Incoming Demand-Increase Retailer Incoming Demand |

| | |
|-----|--|
| 189 | Peak Value Total Orders-Increase Total Orders |
| 190 | Production and Maintenance Cost-Actual Manufacturing Cost |
| 191 | Production and Maintenance Cost-Actual Profit |
| 192 | Production Capacity-Production Plan |
| 193 | Production Plan-Desired Material Usage Rate |
| 194 | Production Rate For Export Orders-Normal Value Production Rate Export Orders |
| 195 | Production Rate For Export Orders-Peak Value Production Rate Export Orders |
| 196 | Production Rate For Export Orders-Production Coverage |
| 197 | Production Rate For Export Orders-Total Production |
| 198 | Production Rate For Local Orders-Normal Value Production Rate Local Orders |
| 199 | Production Rate For Local Orders-Peak Value Production Rate Local Orders |
| 200 | Production Rate For Local Orders-Production Coverage |
| 201 | Production Rate For Local Orders-Total Production |
| 202 | Production Start Rate-Normal Value Production Start Rate |
| 203 | Production Start Rate-Peak Value Production Start Rate |
| 204 | Received Orders From Clients-Change Distributor Incoming Orders |
| 205 | Received Orders From Clients-Distributor Order Rate |
| 206 | Received Orders From Clients-Normal Value Distributor Received Orders From Clients |
| 207 | Received Orders From Clients-Peak Value Distributor Orders From Clients |
| 208 | Relation Between Desired Productions-Production Rate For Export Orders |
| 209 | Relation Between Desired Productions-Production Rate For Local Orders |
| 210 | Required Material-Manufacturer Materials Quantity |
| 211 | Retailer Backlog for Orders-Retailer Delivery Delay |
| 212 | Retailer Backlog for Orders-Retailer Order Fulfillment Ratio |
| 213 | Retailer Forecast-Change Retailer Incoming Demand |
| 214 | Retailer Forecast-Desired Retailer Inventory |
| 215 | Retailer Fulfillment Rate-Retailer Delivery Delay |
| 216 | Retailer Inventory-Adjustment From Retailer Inventory |
| 217 | Retailer Inventory-Retailer Maximum Shipment Rate |
| 218 | Retailer Maximum Shipment Rate-Retailer Order Fulfillment Ratio |
| 219 | Retailer Order Fulfillment Ratio-Retailer Shipment Rate |

| | |
|-----|--|
| 220 | Retailer Shipment Rate-Retailer Fulfillment Rate |
| 221 | Total Cash Rate-Actual Profit |
| 222 | Total Export Maintenance Cost-Production and Maintenance Cost |
| 223 | Total Export Shipment Cost-Production and Maintenance Cost |
| 224 | Total Local Maintenance Cost-Production and Maintenance Cost |
| 225 | Total Local Miss Shipment Cost-Production and Maintenance Cost |
| 226 | Total Maintenance Materials Cost-Production and Maintenance Cost |
| 227 | Total Manufacturing Cost-Real Profit |
| 228 | Total Production-Orders and Service Processing |
| 229 | Total Sales-Real Profit |
| 230 | Work in Process Inventory-Adjustment for WIP |
| 231 | Work in Process Inventory-Maximun Production Rate |
| 232 | Work in Process Inventory-Production Coverage |

B.9. Pathways Identificados en el modelo de Cadena de Suministro

| Pathways no. | Variable sequence |
|--------------|--|
| 1 | Backlog Export Orders,Desired Export Inventory,Adjustment from Export Inventory,Desired Export Production,Desired WIP,Adjustment for WIP,Desired Production Start Rate,Production Plan,Desired Material Usage Rate,Desired Material Inventory,Adjustment for Material Inventory,Desired Material Delivery Rate,Manufacturer Materials Quantity,Material Delivery Rate,Materials Cost Rate,Total Manufacturing Cost |
| 2 | Backlog Export Orders,Desired Export Inventory,Adjustment from Export Inventory,Desired Export Production,Desired WIP,Adjustment for WIP,Desired Production Start Rate,Production Plan,Desired Material Usage Rate,Desired Material Inventory,Adjustment for Material Inventory,Desired Material Delivery Rate,Manufacturer Materials Quantity,Material Delivery Rate,Materials Inventory |
| 3 | Backlog Export Orders,Desired Export Inventory,Adjustment from Export Inventory,Desired Export Production,Desired WIP,Adjustment for WIP,Desired Production Start Rate,Production Plan,Desired Material Usage Rate,Desired Material Inventory,Adjustment for Material Inventory,Desired Material Delivery Rate,Manufacturer Materials Quantity,Materials Cost,Maintenance Materials Unit |

| | |
|---|---|
| | Cost,Total Maintenance Materials Cost,Production and Maintenance Cost,Total Manufacturing Cost |
| 4 | Backlog Export Orders,Desired Export Inventory,Adjustment from Export Inventory,Desired Export Production,Desired WIP,Adjustment for WIP,Desired Production Start Rate,Production Plan,Desired Material Usage Rate,Desired Material Inventory,Adjustment for Material Inventory,Desired Material Delivery Rate,Manufacturer Materials Quantity,Materials Cost,Materials Cost Rate,Total Manufacturing Cost |
| 5 | Backlog Export Orders,Desired Export Inventory,Adjustment from Export Inventory,Desired Export Production,Desired WIP,Adjustment for WIP,Desired Production Start Rate,Production Plan,Desired Material Usage Rate,Desired Material Inventory,Adjustment for Material Inventory,Desired Material Delivery Rate,Manufacturer Materials Quantity,Payment Delay,Materials Delay Time,Material Delivery Rate,Materials Cost Rate,Total Manufacturing Cost |
| 6 | Backlog Export Orders,Desired Export Inventory,Adjustment from Export Inventory,Desired Export Production,Desired WIP,Adjustment for WIP,Desired Production Start Rate,Production Plan,Desired Material Usage Rate,Desired Material Inventory,Adjustment for Material Inventory,Desired Material Delivery Rate,Manufacturer Materials Quantity,Payment Delay,Materials Delay Time,Material Delivery Rate,Materials Inventory |
| 7 | Backlog Export Orders,Desired Export Inventory,Adjustment from Export Inventory,Desired Export Production,Desired WIP,Adjustment for WIP,Desired Production Start Rate,Production Plan,Desired Material Usage Rate,Material Usage Rate,Feasible Production Starts from Materials,Production Start Rate,Work in Process Inventory |
| 8 | Backlog Export Orders,Desired Export Inventory,Adjustment from Export Inventory,Desired Export Production,Desired WIP,Adjustment for WIP,Desired Production Start Rate,Production Plan,Desired Material Usage Rate,Material Usage Rate,Materials Inventory |
| 9 | Backlog Export Orders,Desired Export Inventory,Adjustment from Export Inventory,Desired Export Production,Desired WIP,Adjustment for WIP,Desired Production Start Rate,Production Plan,Desired Material Usage Rate,Material Usage |

| | |
|----|--|
| | Rate, Perceived Change Material Rate, Materials Average |
| 10 | Backlog Export Orders, Desired Export Inventory, Adjustment from Export Inventory, Desired Export Production, Desired WIP, Adjustment for WIP, Desired Production Start Rate, Production Plan, Desired Material Usage Rate, Material Usage Ratio, Material Usage Rate, Feasible Production Starts from Materials, Production Start Rate, Work in Process Inventory |
| 11 | Backlog Export Orders, Desired Export Inventory, Adjustment from Export Inventory, Desired Export Production, Desired WIP, Adjustment for WIP, Desired Production Start Rate, Production Plan, Desired Material Usage Rate, Material Usage Ratio, Material Usage Rate, Materials Inventory |
| 12 | Backlog Export Orders, Desired Export Inventory, Adjustment from Export Inventory, Desired Export Production, Desired WIP, Adjustment for WIP, Desired Production Start Rate, Production Plan, Desired Material Usage Rate, Material Usage Ratio, Material Usage Rate, Perceived Change Material Rate, Materials Average |
| 13 | Backlog Export Orders, Desired Export Inventory, Adjustment from Export Inventory, Desired Export Production, Relation Between Desired Productions, Production Rate For Export Orders, Export Inventory |
| 14 | Backlog Export Orders, Desired Export Inventory, Adjustment from Export Inventory, Desired Export Production, Relation Between Desired Productions, Production Rate For Export Orders, Total Production, Orders and Service Processing, Total Manufacturing Cost |
| 15 | Backlog Export Orders, Desired Export Inventory, Adjustment from Export Inventory, Desired Export Production, Relation Between Desired Productions, Production Rate For Export Orders, Work in Process Inventory |
| 16 | Backlog Export Orders, Desired Export Inventory, Adjustment from Export Inventory, Desired Export Production, Relation Between Desired Productions, Production Rate For Local Orders, Local Inventory |
| 17 | Backlog Export Orders, Desired Export Inventory, Adjustment from Export Inventory, Desired Export Production, Relation Between Desired Productions, Production Rate For Local Orders, Total Production, Orders and Service Processing, Total Manufacturing Cost |
| 18 | Backlog Export Orders, Desired Export Inventory, Adjustment from Export |

| | |
|----|--|
| | Inventory,Desired Export Production,Relation Between Desired Productions,Production Rate For Local Orders,Work in Process Inventory |
| 19 | Backlog Export Orders,Desired Export Shipment Rate,Export Order Fulfillment Ratio,Export Shipment Rate,Export Inventory |
| 20 | Backlog Export Orders,Desired Export Shipment Rate,Export Order Fulfillment Ratio,Export Shipment Rate,Export Price,Total Cash Rate,Total Sales |
| 21 | Backlog Export Orders,Desired Export Shipment Rate,Export Order Fulfillment Ratio,Export Shipment Rate,Order Export Fulfillment Rate,Backlog Export Orders |
| 22 | Backlog Export Orders,Desired Export Shipment Rate,Export Order Fulfillment Ratio,Export Shipment Rate,Order Export Fulfillment Rate,Export Delivery Delay,Fraction Export Shipment Rate,Miss Export Shipment Cost,Total Export Shipment Cost,Production and Maintenance Cost,Total Manufacturing Cost |
| 23 | Backlog Export Orders,Desired Export Shipment Rate,Export Order Fulfillment Ratio,Export Shipment Rate,Total Cash Rate,Total Sales |
| 24 | Backlog Export Orders,Desired Export Shipment Rate,Export Order Fulfillment Ratio,Export Shipment Rate,Total Export Shipment Cost,Production and Maintenance Cost,Total Manufacturing Cost |
| 25 | Backlog Export Orders,Desired Export Shipment Rate,Export Shipment Rate,Export Inventory |
| 26 | Backlog Export Orders,Desired Export Shipment Rate,Export Shipment Rate,Export Price,Total Cash Rate,Total Sales |
| 27 | Backlog Export Orders,Desired Export Shipment Rate,Export Shipment Rate,Order Export Fulfillment Rate,Backlog Export Orders |
| 28 | Backlog Export Orders,Desired Export Shipment Rate,Export Shipment Rate,Order Export Fulfillment Rate,Export Delivery Delay,Fraction Export Shipment Rate,Miss Export Shipment Cost,Total Export Shipment Cost,Production and Maintenance Cost,Total Manufacturing Cost |
| 29 | Backlog Export Orders,Desired Export Shipment Rate,Export Shipment Rate,Total Cash Rate,Total Sales |
| 30 | Backlog Export Orders,Desired Export Shipment Rate,Export Shipment Rate,Total Export Shipment Cost,Production and Maintenance Cost,Total Manufacturing Cost |
| 31 | Backlog Export Orders,Desired Export Shipment Rate,Total Export Shipment |

| | |
|----|--|
| | Cost,Production and Maintenance Cost,Total Manufacturing Cost |
| 32 | Backlog Export Orders,Export Delivery Delay,Fraction Export Shipment Rate,Miss Export Shipment Cost,Total Export Shipment Cost,Production and Maintenance Cost,Total Manufacturing Cost |
| 33 | Backlog for Distributor Orders,Desired Distributor Shipment Rate,Distributor Order Fulfillment Ratio,Distributor Shipment Rate,Distributor Fulfillment Rate,Backlog for Distributor Orders |
| 34 | Backlog for Distributor Orders,Desired Distributor Shipment Rate,Distributor Order Fulfillment Ratio,Distributor Shipment Rate,Distributor Fulfillment Rate,Incoming Units From Distributor,Retailer Inventory |
| 35 | Backlog for Distributor Orders,Desired Distributor Shipment Rate,Distributor Order Fulfillment Ratio,Distributor Shipment Rate,Distributor Inventory |
| 36 | Backlog for Distributor Orders,Desired Distributor Shipment Rate,Distributor Shipment Rate,Distributor Fulfillment Rate,Backlog for Distributor Orders |
| 37 | Backlog for Distributor Orders,Desired Distributor Shipment Rate,Distributor Shipment Rate,Distributor Fulfillment Rate,Incoming Units From Distributor,Retailer Inventory |
| 38 | Backlog for Distributor Orders,Desired Distributor Shipment Rate,Distributor Shipment Rate,Distributor Inventory |
| 39 | Backlog Local Orders,Desired Local Shipment Rate,Local Order Fulfillment Ratio,Local Shipment Rate,Final Local Price,Total Cash Rate,Total Sales |
| 40 | Backlog Local Orders,Desired Local Shipment Rate,Local Order Fulfillment Ratio,Local Shipment Rate,Local Inventory |
| 41 | Backlog Local Orders,Desired Local Shipment Rate,Local Order Fulfillment Ratio,Local Shipment Rate,Order Local Fulfillment Rate,Backlog Local Orders |
| 42 | Backlog Local Orders,Desired Local Shipment Rate,Local Order Fulfillment Ratio,Local Shipment Rate,Order Local Fulfillment Rate,Incoming Units From Manufacturer,Distributor Units On Travel |
| 43 | Backlog Local Orders,Desired Local Shipment Rate,Local Order Fulfillment Ratio,Local Shipment Rate,Order Local Fulfillment Rate,Local Delivery Delay,Fraction Local Shipment Cost,Miss Local Shipment Cost,Total Local Miss Shipment Cost,Production and Maintenance Cost,Total Manufacturing Cost |

| | |
|----|---|
| 44 | Backlog Local Orders,Desired Local Shipment Rate,Local Order Fulfillment Ratio,Local Shipment Rate,Total Cash Rate,Total Sales |
| 45 | Backlog Local Orders,Desired Local Shipment Rate,Local Order Fulfillment Ratio,Local Shipment Rate,Total Local Miss Shipment Cost,Production and Maintenance Cost,Total Manufacturing Cost |
| 46 | Backlog Local Orders,Desired Local Shipment Rate,Local Shipment Rate,Final Local Price,Total Cash Rate,Total Sales |
| 47 | Backlog Local Orders,Desired Local Shipment Rate,Local Shipment Rate,Local Inventory |
| 48 | Backlog Local Orders,Desired Local Shipment Rate,Local Shipment Rate,Order Local Fulfillment Rate,Backlog Local Orders |
| 49 | Backlog Local Orders,Desired Local Shipment Rate,Local Shipment Rate,Order Local Fulfillment Rate,Incoming Units From Manufacturer,Distributor Units On Travel |
| 50 | Backlog Local Orders,Desired Local Shipment Rate,Local Shipment Rate,Order Local Fulfillment Rate,Local Delivery Delay,Fraction Local Shipment Cost,Miss Local Shipment Cost,Total Local Miss Shipment Cost,Production and Maintenance Cost,Total Manufacturing Cost |
| 51 | Backlog Local Orders,Desired Local Shipment Rate,Local Shipment Rate,Total Cash Rate,Total Sales |
| 52 | Backlog Local Orders,Desired Local Shipment Rate,Local Shipment Rate,Total Local Miss Shipment Cost,Production and Maintenance Cost,Total Manufacturing Cost |
| 53 | Backlog Local Orders,Desired Local Shipment Rate,Total Local Miss Shipment Cost,Production and Maintenance Cost,Total Manufacturing Cost |
| 54 | Backlog Local Orders,Local Delivery Delay,Fraction Local Shipment Cost,Miss Local Shipment Cost,Total Local Miss Shipment Cost,Production and Maintenance Cost,Total Manufacturing Cost |
| 55 | Distributor Forecast,Change Distributor Incoming Orders,Distributor Forecast |
| 56 | Distributor Forecast,Desired Distributor Inventory,Adjustment From Distributor Inventory,Desired Distributor Units,Desired Distributor Incoming Units,Adjustment From Distributor Units on Travel,Desired Units From Manufacturer,Incoming Local Orders,Change in Fcasted Orders,Local Forecast |
| 57 | Distributor Forecast,Desired Distributor Inventory,Adjustment From Distributor |

| | |
|----|--|
| | Inventory,Desired Distributor Units,Desired Distributor Incoming Units,Adjustment From Distributor Units on Travel,Desired Units From Manufacturer,Incoming Local Orders,Order Local Rate,Backlog Local Orders |
| 58 | Distributor Inventory,Adjustment From Distributor Inventory,Desired Distributor Units,Desired Distributor Incoming Units,Adjustment From Distributor Units on Travel,Desired Units From Manufacturer,Incoming Local Orders,Change in Fcasted Orders,Local Forecast |
| 59 | Distributor Inventory,Adjustment From Distributor Inventory,Desired Distributor Units,Desired Distributor Incoming Units,Adjustment From Distributor Units on Travel,Desired Units From Manufacturer,Incoming Local Orders,Order Local Rate,Backlog Local Orders |
| 60 | Distributor Inventory,Distributor Maximum Shipment Rate,Distributor Order Fulfillment Ratio,Distributor Shipment Rate,Distributor Fulfillment Rate,Backlog for Distributor Orders |
| 61 | Distributor Inventory,Distributor Maximum Shipment Rate,Distributor Order Fulfillment Ratio,Distributor Shipment Rate,Distributor Fulfillment Rate,Incoming Units From Distributor,Retailer Inventory |
| 62 | Distributor Inventory,Distributor Maximum Shipment Rate,Distributor Order Fulfillment Ratio,Distributor Shipment Rate,Distributor Inventory |
| 63 | Distributor Units On Travel,Adjustment From Distributor Units on Travel,Desired Units From Manufacturer,Incoming Local Orders,Change in Fcasted Orders,Local Forecast |
| 64 | Distributor Units On Travel,Adjustment From Distributor Units on Travel,Desired Units From Manufacturer,Incoming Local Orders,Order Local Rate,Backlog Local Orders |
| 65 | Distributor Units On Travel,Distributor Maximum Units Rate,Distributor Units Rate,Distributor Inventory |
| 66 | Distributor Units On Travel,Distributor Maximum Units Rate,Distributor Units Rate,Distributor Units On Travel |
| 67 | Export Inventory,Adjustment from Export Inventory,Desired Export Production,Desired WIP,Adjustment for WIP,Desired Production Start Rate,Production Plan,Desired Material Usage Rate,Desired Material |

| | |
|----|---|
| | Inventory,Adjustment for Material Inventory,Desired Material Delivery Rate,Manufacturer Materials Quantity,Material Delivery Rate,Materials Cost Rate,Total Manufacturing Cost |
| 68 | Export Inventory,Adjustment from Export Inventory,Desired Export Production,Desired WIP,Adjustment for WIP,Desired Production Start Rate,Production Plan,Desired Material Usage Rate,Desired Material Inventory,Adjustment for Material Inventory,Desired Material Delivery Rate,Manufacturer Materials Quantity,Material Delivery Rate,Materials Inventory |
| 69 | Export Inventory,Adjustment from Export Inventory,Desired Export Production,Desired WIP,Adjustment for WIP,Desired Production Start Rate,Production Plan,Desired Material Usage Rate,Desired Material Inventory,Adjustment for Material Inventory,Desired Material Delivery Rate,Manufacturer Materials Quantity,Materials Cost,Maintenance Materials Unit Cost,Total Maintenance Materials Cost,Production and Maintenance Cost,Total Manufacturing Cost |
| 70 | Export Inventory,Adjustment from Export Inventory,Desired Export Production,Desired WIP,Adjustment for WIP,Desired Production Start Rate,Production Plan,Desired Material Usage Rate,Desired Material Inventory,Adjustment for Material Inventory,Desired Material Delivery Rate,Manufacturer Materials Quantity,Materials Cost,Materials Cost Rate,Total Manufacturing Cost |
| 71 | Export Inventory,Adjustment from Export Inventory,Desired Export Production,Desired WIP,Adjustment for WIP,Desired Production Start Rate,Production Plan,Desired Material Usage Rate,Desired Material Inventory,Adjustment for Material Inventory,Desired Material Delivery Rate,Manufacturer Materials Quantity,Payment Delay,Materials Delay Time,Material Delivery Rate,Materials Cost Rate,Total Manufacturing Cost |
| 72 | Export Inventory,Adjustment from Export Inventory,Desired Export Production,Desired WIP,Adjustment for WIP,Desired Production Start Rate,Production Plan,Desired Material Usage Rate,Desired Material Inventory,Adjustment for Material Inventory,Desired Material Delivery Rate,Manufacturer Materials Quantity,Payment Delay,Materials Delay Time,Material |

| | |
|----|---|
| | Delivery Rate,Materials Inventory |
| 73 | Export Inventory,Adjustment from Export Inventory,Desired Export Production,Desired WIP,Adjustment for WIP,Desired Production Start Rate,Production Plan,Desired Material Usage Rate,Material Usage Rate,Feasible Production Starts from Materials,Production Start Rate,Work in Process Inventory |
| 74 | Export Inventory,Adjustment from Export Inventory,Desired Export Production,Desired WIP,Adjustment for WIP,Desired Production Start Rate,Production Plan,Desired Material Usage Rate,Material Usage Rate,Materials Inventory |
| 75 | Export Inventory,Adjustment from Export Inventory,Desired Export Production,Desired WIP,Adjustment for WIP,Desired Production Start Rate,Production Plan,Desired Material Usage Rate,Material Usage Rate,Perceived Change Material Rate,Materials Average |
| 76 | Export Inventory,Adjustment from Export Inventory,Desired Export Production,Desired WIP,Adjustment for WIP,Desired Production Start Rate,Production Plan,Desired Material Usage Rate,Material Usage Ratio,Material Usage Rate,Feasible Production Starts from Materials,Production Start Rate,Work in Process Inventory |
| 77 | Export Inventory,Adjustment from Export Inventory,Desired Export Production,Desired WIP,Adjustment for WIP,Desired Production Start Rate,Production Plan,Desired Material Usage Rate,Material Usage Ratio,Material Usage Rate,Materials Inventory |
| 78 | Export Inventory,Adjustment from Export Inventory,Desired Export Production,Desired WIP,Adjustment for WIP,Desired Production Start Rate,Production Plan,Desired Material Usage Rate,Material Usage Ratio,Material Usage Rate,Perceived Change Material Rate,Materials Average |
| 79 | Export Inventory,Adjustment from Export Inventory,Desired Export Production,Relation Between Desired Productions,Production Rate For Export Orders,Export Inventory |
| 80 | Export Inventory,Adjustment from Export Inventory,Desired Export Production,Relation Between Desired Productions,Production Rate For Export Orders,Total Production,Orders and Service Processing,Total Manufacturing Cost |

| | |
|----|---|
| 81 | Export Inventory,Adjustment from Export Inventory,Desired Export Production,Relation Between Desired Productions,Production Rate For Export Orders,Work in Process Inventory |
| 82 | Export Inventory,Adjustment from Export Inventory,Desired Export Production,Relation Between Desired Productions,Production Rate For Local Orders,Local Inventory |
| 83 | Export Inventory,Adjustment from Export Inventory,Desired Export Production,Relation Between Desired Productions,Production Rate For Local Orders,Total Production,Orders and Service Processing,Total Manufacturing Cost |
| 84 | Export Inventory,Adjustment from Export Inventory,Desired Export Production,Relation Between Desired Productions,Production Rate For Local Orders,Work in Process Inventory |
| 85 | Export Inventory,Maximum Export Shipment Rate,Export Order Fulfillment Ratio,Export Shipment Rate,Export Inventory |
| 86 | Export Inventory,Maximum Export Shipment Rate,Export Order Fulfillment Ratio,Export Shipment Rate,Export Price,Total Cash Rate,Total Sales |
| 87 | Export Inventory,Maximum Export Shipment Rate,Export Order Fulfillment Ratio,Export Shipment Rate,Order Export Fulfillment Rate,Backlog Export Orders |
| 88 | Export Inventory,Maximum Export Shipment Rate,Export Order Fulfillment Ratio,Export Shipment Rate,Order Export Fulfillment Rate,Export Delivery Delay,Fraction Export Shipment Rate,Miss Export Shipment Cost,Total Export Shipment Cost,Production and Maintenance Cost,Total Manufacturing Cost |
| 89 | Export Inventory,Maximum Export Shipment Rate,Export Order Fulfillment Ratio,Export Shipment Rate,Total Cash Rate,Total Sales |
| 90 | Export Inventory,Maximum Export Shipment Rate,Export Order Fulfillment Ratio,Export Shipment Rate,Total Export Shipment Cost,Production and Maintenance Cost,Total Manufacturing Cost |
| 91 | Export Inventory,Total Export Maintenance Cost,Production and Maintenance Cost,Total Manufacturing Cost |
| 92 | Local Forecast,Change in Fcasted Orders,Local Forecast |
| 93 | Local Forecast,Desired Local Inventory,Adjustment from Local Inventory,Desired Local Production,Desired WIP,Adjustment for WIP,Desired Production Start |

| | |
|----|---|
| | Rate,Production Plan,Desired Material Usage Rate,Desired Material Inventory,Adjustment for Material Inventory,Desired Material Delivery Rate,Manufacturer Materials Quantity,Material Delivery Rate,Materials Cost Rate,Total Manufacturing Cost |
| 94 | Local Forecast,Desired Local Inventory,Adjustment from Local Inventory,Desired Local Production,Desired WIP,Adjustment for WIP,Desired Production Start Rate,Production Plan,Desired Material Usage Rate,Desired Material Inventory,Adjustment for Material Inventory,Desired Material Delivery Rate,Manufacturer Materials Quantity,Material Delivery Rate,Materials Inventory |
| 95 | Local Forecast,Desired Local Inventory,Adjustment from Local Inventory,Desired Local Production,Desired WIP,Adjustment for WIP,Desired Production Start Rate,Production Plan,Desired Material Usage Rate,Desired Material Inventory,Adjustment for Material Inventory,Desired Material Delivery Rate,Manufacturer Materials Quantity,Materials Cost,Maintenance Materials Unit Cost,Total Maintenance Materials Cost,Production and Maintenance Cost,Total Manufacturing Cost |
| 96 | Local Forecast,Desired Local Inventory,Adjustment from Local Inventory,Desired Local Production,Desired WIP,Adjustment for WIP,Desired Production Start Rate,Production Plan,Desired Material Usage Rate,Desired Material Inventory,Adjustment for Material Inventory,Desired Material Delivery Rate,Manufacturer Materials Quantity,Materials Cost,Materials Cost Rate,Total Manufacturing Cost |
| 97 | Local Forecast,Desired Local Inventory,Adjustment from Local Inventory,Desired Local Production,Desired WIP,Adjustment for WIP,Desired Production Start Rate,Production Plan,Desired Material Usage Rate,Desired Material Inventory,Adjustment for Material Inventory,Desired Material Delivery Rate,Manufacturer Materials Quantity,Payment Delay,Materials Delay Time,Material Delivery Rate,Materials Cost Rate,Total Manufacturing Cost |
| 98 | Local Forecast,Desired Local Inventory,Adjustment from Local Inventory,Desired Local Production,Desired WIP,Adjustment for WIP,Desired Production Start Rate,Production Plan,Desired Material Usage Rate,Desired Material Inventory,Adjustment for Material Inventory,Desired Material Delivery |

| | |
|-----|---|
| | Rate,Manufacturer Materials Quantity,Payment Delay,Materials Delay Time,Material Delivery Rate,Materials Inventory |
| 99 | Local Forecast,Desired Local Inventory,Adjustment from Local Inventory,Desired Local Production,Desired WIP,Adjustment for WIP,Desired Production Start Rate,Production Plan,Desired Material Usage Rate,Material Usage Rate,Feasible Production Starts from Materials,Production Start Rate,Work in Process Inventory |
| 100 | Local Forecast,Desired Local Inventory,Adjustment from Local Inventory,Desired Local Production,Desired WIP,Adjustment for WIP,Desired Production Start Rate,Production Plan,Desired Material Usage Rate,Material Usage Rate,Materials Inventory |
| 101 | Local Forecast,Desired Local Inventory,Adjustment from Local Inventory,Desired Local Production,Desired WIP,Adjustment for WIP,Desired Production Start Rate,Production Plan,Desired Material Usage Rate,Material Usage Rate,Perceived Change Material Rate,Materials Average |
| 102 | Local Forecast,Desired Local Inventory,Adjustment from Local Inventory,Desired Local Production,Desired WIP,Adjustment for WIP,Desired Production Start Rate,Production Plan,Desired Material Usage Rate,Material Usage Ratio,Material Usage Rate,Feasible Production Starts from Materials,Production Start Rate,Work in Process Inventory |
| 103 | Local Forecast,Desired Local Inventory,Adjustment from Local Inventory,Desired Local Production,Desired WIP,Adjustment for WIP,Desired Production Start Rate,Production Plan,Desired Material Usage Rate,Material Usage Ratio,Material Usage Rate,Materials Inventory |
| 104 | Local Forecast,Desired Local Inventory,Adjustment from Local Inventory,Desired Local Production,Desired WIP,Adjustment for WIP,Desired Production Start Rate,Production Plan,Desired Material Usage Rate,Material Usage Ratio,Material Usage Rate,Perceived Change Material Rate,Materials Average |
| 105 | Local Forecast,Desired Local Inventory,Adjustment from Local Inventory,Desired Local Production,Relation Between Desired Productions,Production Rate For Export Orders,Export Inventory |
| 106 | Local Forecast,Desired Local Inventory,Adjustment from Local Inventory,Desired Local Production,Relation Between Desired Productions,Production Rate For Export |

| | |
|-----|--|
| | Orders,Total Production,Orders and Service Processing,Total Manufacturing Cost |
| 107 | Local Forecast,Desired Local Inventory,Adjustment from Local Inventory,Desired Local Production,Relation Between Desired Productions,Production Rate For Export Orders,Work in Process Inventory |
| 108 | Local Forecast,Desired Local Inventory,Adjustment from Local Inventory,Desired Local Production,Relation Between Desired Productions,Production Rate For Local Orders,Local Inventory |
| 109 | Local Forecast,Desired Local Inventory,Adjustment from Local Inventory,Desired Local Production,Relation Between Desired Productions,Production Rate For Local Orders,Total Production,Orders and Service Processing,Total Manufacturing Cost |
| 110 | Local Forecast,Desired Local Inventory,Adjustment from Local Inventory,Desired Local Production,Relation Between Desired Productions,Production Rate For Local Orders,Work in Process Inventory |
| 111 | Local Inventory,Adjustment from Local Inventory,Desired Local Production,Desired WIP,Adjustment for WIP,Desired Production Start Rate,Production Plan,Desired Material Usage Rate,Desired Material Inventory,Adjustment for Material Inventory,Desired Material Delivery Rate,Manufacturer Materials Quantity,Material Delivery Rate,Materials Cost Rate,Total Manufacturing Cost |
| 112 | Local Inventory,Adjustment from Local Inventory,Desired Local Production,Desired WIP,Adjustment for WIP,Desired Production Start Rate,Production Plan,Desired Material Usage Rate,Desired Material Inventory,Adjustment for Material Inventory,Desired Material Delivery Rate,Manufacturer Materials Quantity,Material Delivery Rate,Materials Inventory |
| 113 | Local Inventory,Adjustment from Local Inventory,Desired Local Production,Desired WIP,Adjustment for WIP,Desired Production Start Rate,Production Plan,Desired Material Usage Rate,Desired Material Inventory,Adjustment for Material Inventory,Desired Material Delivery Rate,Manufacturer Materials Quantity,Materials Cost,Maintenance Materials Unit Cost,Total Maintenance Materials Cost,Production and Maintenance Cost,Total Manufacturing Cost |
| 114 | Local Inventory,Adjustment from Local Inventory,Desired Local Production,Desired WIP,Adjustment for WIP,Desired Production Start Rate,Production Plan,Desired Material Usage Rate,Desired Material Inventory,Adjustment for Material |

| | |
|-----|--|
| | Inventory,Desired Material Delivery Rate,Manufacturer Materials Quantity,Materials Cost,Materials Cost Rate,Total Manufacturing Cost |
| 115 | Local Inventory,Adjustment from Local Inventory,Desired Local Production,Desired WIP,Adjustment for WIP,Desired Production Start Rate,Production Plan,Desired Material Usage Rate,Desired Material Inventory,Adjustment for Material Inventory,Desired Material Delivery Rate,Manufacturer Materials Quantity,Payment Delay,Materials Delay Time,Material Delivery Rate,Materials Cost Rate,Total Manufacturing Cost |
| 116 | Local Inventory,Adjustment from Local Inventory,Desired Local Production,Desired WIP,Adjustment for WIP,Desired Production Start Rate,Production Plan,Desired Material Usage Rate,Desired Material Inventory,Adjustment for Material Inventory,Desired Material Delivery Rate,Manufacturer Materials Quantity,Payment Delay,Materials Delay Time,Material Delivery Rate,Materials Inventory |
| 117 | Local Inventory,Adjustment from Local Inventory,Desired Local Production,Desired WIP,Adjustment for WIP,Desired Production Start Rate,Production Plan,Desired Material Usage Rate,Material Usage Rate,Feasible Production Starts from Materials,Production Start Rate,Work in Process Inventory |
| 118 | Local Inventory,Adjustment from Local Inventory,Desired Local Production,Desired WIP,Adjustment for WIP,Desired Production Start Rate,Production Plan,Desired Material Usage Rate,Material Usage Rate,Materials Inventory |
| 119 | Local Inventory,Adjustment from Local Inventory,Desired Local Production,Desired WIP,Adjustment for WIP,Desired Production Start Rate,Production Plan,Desired Material Usage Rate,Material Usage Rate,Perceived Change Material Rate,Materials Average |
| 120 | Local Inventory,Adjustment from Local Inventory,Desired Local Production,Desired WIP,Adjustment for WIP,Desired Production Start Rate,Production Plan,Desired Material Usage Rate,Material Usage Ratio,Material Usage Rate,Feasible Production Starts from Materials,Production Start Rate,Work in Process Inventory |
| 121 | Local Inventory,Adjustment from Local Inventory,Desired Local Production,Desired WIP,Adjustment for WIP,Desired Production Start Rate,Production Plan,Desired Material Usage Rate,Material Usage Ratio,Material Usage Rate,Materials Inventory |
| 122 | Local Inventory,Adjustment from Local Inventory,Desired Local Production,Desired |

| | |
|-----|---|
| | WIP,Adjustment for WIP,Desired Production Start Rate,Production Plan,Desired Material Usage Rate,Material Usage Ratio,Material Usage Rate,Perceived Change Material Rate,Materials Average |
| 123 | Local Inventory,Adjustment from Local Inventory,Desired Local Production,Relation Between Desired Productions,Production Rate For Export Orders,Export Inventory |
| 124 | Local Inventory,Adjustment from Local Inventory,Desired Local Production,Relation Between Desired Productions,Production Rate For Export Orders,Total Production,Orders and Service Processing,Total Manufacturing Cost |
| 125 | Local Inventory,Adjustment from Local Inventory,Desired Local Production,Relation Between Desired Productions,Production Rate For Export Orders,Work in Process Inventory |
| 126 | Local Inventory,Adjustment from Local Inventory,Desired Local Production,Relation Between Desired Productions,Production Rate For Local Orders,Local Inventory |
| 127 | Local Inventory,Adjustment from Local Inventory,Desired Local Production,Relation Between Desired Productions,Production Rate For Local Orders,Total Production,Orders and Service Processing,Total Manufacturing Cost |
| 128 | Local Inventory,Adjustment from Local Inventory,Desired Local Production,Relation Between Desired Productions,Production Rate For Local Orders,Work in Process Inventory |
| 129 | Local Inventory,Maximum Local Shipment Rate,Local Order Fulfillment Ratio,Local Shipment Rate,Final Local Price,Total Cash Rate,Total Sales |
| 130 | Local Inventory,Maximum Local Shipment Rate,Local Order Fulfillment Ratio,Local Shipment Rate,Local Inventory |
| 131 | Local Inventory,Maximum Local Shipment Rate,Local Order Fulfillment Ratio,Local Shipment Rate,Order Local Fulfillment Rate,Backlog Local Orders |
| 132 | Local Inventory,Maximum Local Shipment Rate,Local Order Fulfillment Ratio,Local Shipment Rate,Order Local Fulfillment Rate,Incoming Units From Manufacturer,Distributor Units On Travel |
| 133 | Local Inventory,Maximum Local Shipment Rate,Local Order Fulfillment Ratio,Local Shipment Rate,Order Local Fulfillment Rate,Local Delivery Delay,Fraction Local Shipment Cost,Miss Local Shipment Cost,Total Local Miss Shipment Cost,Production and Maintenance Cost,Total Manufacturing Cost |

| | |
|-----|---|
| 134 | Local Inventory,Maximum Local Shipment Rate,Local Order Fulfillment Ratio,Local Shipment Rate,Total Cash Rate,Total Sales |
| 135 | Local Inventory,Maximum Local Shipment Rate,Local Order Fulfillment Ratio,Local Shipment Rate,Total Local Miss Shipment Cost,Production and Maintenance Cost,Total Manufacturing Cost |
| 136 | Local Inventory,Total Local Maintenance Cost,Production and Maintenance Cost,Total Manufacturing Cost |
| 137 | Materials Average,Perceived Change Material Rate,Materials Average |
| 138 | Materials Average,Required Material,Manufacturer Materials Quantity,Material Delivery Rate,Materials Cost Rate,Total Manufacturing Cost |
| 139 | Materials Average,Required Material,Manufacturer Materials Quantity,Material Delivery Rate,Materials Inventory |
| 140 | Materials Average,Required Material,Manufacturer Materials Quantity,Materials Cost,Maintenance Materials Unit Cost,Total Maintenance Materials Cost,Production and Maintenance Cost,Total Manufacturing Cost |
| 141 | Materials Average,Required Material,Manufacturer Materials Quantity,Materials Cost,Materials Cost Rate,Total Manufacturing Cost |
| 142 | Materials Average,Required Material,Manufacturer Materials Quantity,Payment Delay,Materials Delay Time,Material Delivery Rate,Materials Cost Rate,Total Manufacturing Cost |
| 143 | Materials Average,Required Material,Manufacturer Materials Quantity,Payment Delay,Materials Delay Time,Material Delivery Rate,Materials Inventory |
| 144 | Materials Inventory,Adjustment for Material Inventory,Desired Material Delivery Rate,Manufacturer Materials Quantity,Material Delivery Rate,Materials Cost Rate,Total Manufacturing Cost |
| 145 | Materials Inventory,Adjustment for Material Inventory,Desired Material Delivery Rate,Manufacturer Materials Quantity,Material Delivery Rate,Materials Inventory |
| 146 | Materials Inventory,Adjustment for Material Inventory,Desired Material Delivery Rate,Manufacturer Materials Quantity,Materials Cost,Maintenance Materials Unit Cost,Total Maintenance Materials Cost,Production and Maintenance Cost,Total Manufacturing Cost |
| 147 | Materials Inventory,Adjustment for Material Inventory,Desired Material Delivery |

| | |
|-----|--|
| | Rate,Manufacturer Materials Quantity,Materials Cost,Materials Cost Rate,Total Manufacturing Cost |
| 148 | Materials Inventory,Adjustment for Material Inventory,Desired Material Delivery Rate,Manufacturer Materials Quantity,Payment Delay,Materials Delay Time,Material Delivery Rate,Materials Cost Rate,Total Manufacturing Cost |
| 149 | Materials Inventory,Adjustment for Material Inventory,Desired Material Delivery Rate,Manufacturer Materials Quantity,Payment Delay,Materials Delay Time,Material Delivery Rate,Materials Inventory |
| 150 | Materials Inventory,Maximum Material Usage Rate,Material Usage Ratio,Material Usage Rate,Feasible Production Starts from Materials,Production Start Rate,Work in Process Inventory |
| 151 | Materials Inventory,Maximum Material Usage Rate,Material Usage Ratio,Material Usage Rate,Materials Inventory |
| 152 | Materials Inventory,Maximum Material Usage Rate,Material Usage Ratio,Material Usage Rate,Perceived Change Material Rate,Materials Average |
| 153 | Materials Inventory,Maximum Material Usage Rate,Required Material,Manufacturer Materials Quantity,Material Delivery Rate,Materials Cost Rate,Total Manufacturing Cost |
| 154 | Materials Inventory,Maximum Material Usage Rate,Required Material,Manufacturer Materials Quantity,Material Delivery Rate,Materials Inventory |
| 155 | Materials Inventory,Maximum Material Usage Rate,Required Material,Manufacturer Materials Quantity,Materials Cost,Maintenance Materials Unit Cost,Total Maintenance Materials Cost,Production and Maintenance Cost,Total Manufacturing Cost |
| 156 | Materials Inventory,Maximum Material Usage Rate,Required Material,Manufacturer Materials Quantity,Materials Cost,Materials Cost Rate,Total Manufacturing Cost |
| 157 | Materials Inventory,Maximum Material Usage Rate,Required Material,Manufacturer Materials Quantity,Payment Delay,Materials Delay Time,Material Delivery Rate,Materials Cost Rate,Total Manufacturing Cost |
| 158 | Materials Inventory,Maximum Material Usage Rate,Required Material,Manufacturer Materials Quantity,Payment Delay,Materials Delay Time,Material Delivery Rate,Materials Inventory |

| | |
|-----|--|
| 159 | Materials Inventory,Total Maintenance Materials Cost,Production and Maintenance Cost,Total Manufacturing Cost |
| 160 | Retailer Backlog for Orders,Retailer Order Fulfillment Ratio,Retailer Shipment Rate,Retailer Fulfillment Rate,Retailer Backlog for Orders |
| 161 | Retailer Backlog for Orders,Retailer Order Fulfillment Ratio,Retailer Shipment Rate,Retailer Inventory |
| 162 | Retailer Forecast,Change Retailer Incoming Demand,Retailer Forecast |
| 163 | Retailer Forecast,Desired Retailer Inventory,Adjustment From Retailer Inventory,Desired Units From Distributor,Received Orders From Clients,Change Distributor Incoming Orders,Distributor Forecast |
| 164 | Retailer Forecast,Desired Retailer Inventory,Adjustment From Retailer Inventory,Desired Units From Distributor,Received Orders From Clients,Distributor Order Rate,Backlog for Distributor Orders |
| 165 | Retailer Inventory,Adjustment From Retailer Inventory,Desired Units From Distributor,Received Orders From Clients,Change Distributor Incoming Orders,Distributor Forecast |
| 166 | Retailer Inventory,Adjustment From Retailer Inventory,Desired Units From Distributor,Received Orders From Clients,Distributor Order Rate,Backlog for Distributor Orders |
| 167 | Retailer Inventory,Retailer Maximum Shipment Rate,Retailer Order Fulfillment Ratio,Retailer Shipment Rate,Retailer Fulfillment Rate,Retailer Backlog for Orders |
| 168 | Retailer Inventory,Retailer Maximum Shipment Rate,Retailer Order Fulfillment Ratio,Retailer Shipment Rate,Retailer Inventory |
| 169 | Work in Process Inventory,Adjustment for WIP,Desired Production Start Rate,Production Plan,Desired Material Usage Rate,Desired Material Inventory,Adjustment for Material Inventory,Desired Material Delivery Rate,Manufacturer Materials Quantity,Material Delivery Rate,Materials Cost Rate,Total Manufacturing Cost |
| 170 | Work in Process Inventory,Adjustment for WIP,Desired Production Start Rate,Production Plan,Desired Material Usage Rate,Desired Material Inventory,Adjustment for Material Inventory,Desired Material Delivery Rate,Manufacturer Materials Quantity,Material Delivery Rate,Materials Inventory |

| | |
|-----|---|
| 171 | Work in Process Inventory,Adjustment for WIP,Desired Production Start Rate,Production Plan,Desired Material Usage Rate,Desired Material Inventory,Adjustment for Material Inventory,Desired Material Delivery Rate,Manufacturer Materials Quantity,Materials Cost,Maintenance Materials Unit Cost,Total Maintenance Materials Cost,Production and Maintenance Cost,Total Manufacturing Cost |
| 172 | Work in Process Inventory,Adjustment for WIP,Desired Production Start Rate,Production Plan,Desired Material Usage Rate,Desired Material Inventory,Adjustment for Material Inventory,Desired Material Delivery Rate,Manufacturer Materials Quantity,Materials Cost,Materials Cost Rate,Total Manufacturing Cost |
| 173 | Work in Process Inventory,Adjustment for WIP,Desired Production Start Rate,Production Plan,Desired Material Usage Rate,Desired Material Inventory,Adjustment for Material Inventory,Desired Material Delivery Rate,Manufacturer Materials Quantity,Payment Delay,Materials Delay Time,Material Delivery Rate,Materials Cost Rate,Total Manufacturing Cost |
| 174 | Work in Process Inventory,Adjustment for WIP,Desired Production Start Rate,Production Plan,Desired Material Usage Rate,Desired Material Inventory,Adjustment for Material Inventory,Desired Material Delivery Rate,Manufacturer Materials Quantity,Payment Delay,Materials Delay Time,Material Delivery Rate,Materials Inventory |
| 175 | Work in Process Inventory,Adjustment for WIP,Desired Production Start Rate,Production Plan,Desired Material Usage Rate,Material Usage Rate,Feasible Production Starts from Materials,Production Start Rate,Work in Process Inventory |
| 176 | Work in Process Inventory,Adjustment for WIP,Desired Production Start Rate,Production Plan,Desired Material Usage Rate,Material Usage Rate,Materials Inventory |
| 177 | Work in Process Inventory,Adjustment for WIP,Desired Production Start Rate,Production Plan,Desired Material Usage Rate,Material Usage Rate,Perceived Change Material Rate,Materials Average |
| 178 | Work in Process Inventory,Adjustment for WIP,Desired Production Start Rate,Production Plan,Desired Material Usage Rate,Material Usage Ratio,Material |

| | |
|-----|--|
| | Usage Rate,Feasible Production Starts from Materials,Production Start Rate,Work in Process Inventory |
| 179 | Work in Process Inventory,Adjustment for WIP,Desired Production Start Rate,Production Plan,Desired Material Usage Rate,Material Usage Ratio,Material Usage Rate,Materials Inventory |
| 180 | Work in Process Inventory,Adjustment for WIP,Desired Production Start Rate,Production Plan,Desired Material Usage Rate,Material Usage Ratio,Material Usage Rate,Perceived Change Material Rate,Materials Average |
| 181 | Work in Process Inventory,Maximun Production Rate,Production Rate For Export Orders,Export Inventory |
| 182 | Work in Process Inventory,Maximun Production Rate,Production Rate For Export Orders,Total Production,Orders and Service Processing,Total Manufacturing Cost |
| 183 | Work in Process Inventory,Maximun Production Rate,Production Rate For Export Orders,Work in Process Inventory |
| 184 | Work in Process Inventory,Maximun Production Rate,Production Rate For Local Orders,Local Inventory |
| 185 | Work in Process Inventory,Maximun Production Rate,Production Rate For Local Orders,Total Production,Orders and Service Processing,Total Manufacturing Cost |
| 186 | Work in Process Inventory,Maximun Production Rate,Production Rate For Local Orders,Work in Process Inventory |

B.10. Elasticidades para el modelo de Cadena de Suministro.

A continuación no se muestra toda la información por brevedad

Partition 1

$$ecl1,1 = E(1,11,1) * (g111p1 + g111p2) / (g111p1 + g111p2 + g111p3 + g111p4) + E(1,15,1) * (g115p1 + g115p2 + g115p3 + g115p4) / (g115p1 + g115p2 + g115p3 + g115p4 + g115p5 + g115p6 + g115p7 + g115p8 + g115p9 + g115p10 + g115p11 + g115p12) + E(7,11,1) * (g711p1 + g711p2) / (g711p1 + g711p2 + g711p3 + g711p4) + E(7,15,1) * (g715p1 + g715p2 + g715p3 + g715p4) / (g715p1 + g715p2 + g715p3 + g715p4 + g715p5 + g715p6 + g715p7 + g715p8 + g715p9) + E(8,11,1) * (g811p1 + g811p2) / (g811p1 + g811p2 + g811p3 + g811p4) + E(8,15,1) * (g815p1 + g815p2 + g815p3 + g815p4) / (g815p1 + g815p2 + g815p3 + g815p4 + g815p5 + g815p6) + E(9,11,1) * (g911p1 + g911p2) / (g911p1 + g911p2 + g911p3 + g911p4) + E(9,15,1) * (g915p1 + g915p2 + g915p3 + g915p4) / (g915p1 + g915p2 + g915p3 + g915p4 + g915p5 + g915p6 + g915p7 + g915p8 + g915p9) + E(11,11,1) * (g1111p1 + g1111p2 + g1111p3 + g1111p4 + g1111p5 + g1111p6 + g1111p7 + g1111p8 + g1111p9 + g1111p10 + g1111p11 + g1111p12)$$

$$\begin{aligned}
& p2)/(g1111p1+g1111p2+g1111p3+g1111p4+g1111p5)+E(11,15,1)*(g1115p1+g1115p2+g1115p3+g1115p4)/(g1115p1+g1115p2+g1115p3+g1115p4+g1115p5+g1115p6+g1115p7+g1115p8+g1115p9)+E(17,11,1)*(g1711p1+g1711p2)/(g1711p1+g1711p2+g1711p3+g1711p4)+E(17,15,1)*(g1715p1+g1715p2+g1715p3+g1715p4)/(g1715p1+g1715p2+g1715p3+g1715p4+g1715p5+g1715p6) \\
& ecl2,1=E(1,10,1)*(g110p1+g110p2)/(g110p1+g110p2)+E(1,11,1)*(g111p1+g111p2+g111p3+g111p4)/(g111p1+g111p2+g111p3+g111p4)+E(1,15,1)*(g115p1+g115p2+g115p3+g115p4)/(g115p1+g115p2+g115p3+g115p4+g115p5+g115p6+g115p7+g115p8+g115p9+g115p10+g115p11+g115p12)+E(1,17,1)*(g117p1+g117p2)/(g117p1+g117p2+g117p3+g117p4)+E(7,10,1)*(g710p1+g710p2)/(g710p1+g710p2)+E(7,11,1)*(g711p1+g711p2+g711p3+g711p4)/(g711p1+g711p2+g711p3+g711p4)+E(7,15,1)*(g715p1+g715p2+g715p3+g715p4)/(g715p1+g715p2+g715p3+g715p4+g715p5+g715p6+g715p7+g715p8+g715p9)+E(7,17,1)*(g717p1+g717p2)/(g717p1+g717p2+g717p3+g717p4)+E(8,10,1)*(g810p1+g810p2)/(g810p1+g810p2)+E(8,11,1)*(g811p1+g811p2+g811p3+g811p4)/(g811p1+g811p2+g811p3+g811p4)+E(8,15,1)*(g815p1+g815p2+g815p3+g815p4)/(g815p1+g815p2+g815p3+g815p4+g815p5+g815p6)+E(8,17,1)*(g817p1+g817p2)/(g817p1+g817p2+g817p3+g817p4)+E(9,10,1)*(g910p1+g910p2)/(g910p1+g910p2)+E(9,11,1)*(g911p1+g911p2+g911p3+g911p4)/(g911p1+g911p2+g911p3+g911p4)+E(9,15,1)*(g915p1+g915p2+g915p3+g915p4)/(g915p1+g915p2+g915p3+g915p4+g915p5+g915p6+g915p7+g915p8+g915p9)+E(9,17,1)*(g917p1+g917p2)/(g917p1+g917p2+g917p3+g917p4)+E(17,10,1)*(g1710p1+g1710p2)/(g1710p1+g1710p2)+E(17,11,1)*(g1711p1+g1711p2+g1711p3+g1711p4)/(g1711p1+g1711p2+g1711p3+g1711p4)+E(17,15,1)*(g1715p1+g1715p2+g1715p3+g1715p4)/(g1715p1+g1715p2+g1715p3+g1715p4+g1715p5+g1715p6)+E(17,17,1)*(g1717p1+g1717p2)/(g1717p1+g1717p2+g1717p3+g1717p4) \\
& ecl3,1=E(4,3,1)*(g43p1)/(g43p1)+E(4,8,1)*(g48p1)/(g48p1)+E(5,3,1)*(g53p1)/(g53p1)+E(5,8,1)*(g58p1)/(g58p1) \\
& ecl4,1=E(4,3,1)*(g43p1)/(g43p1)+E(4,8,1)*(g48p1)/(g48p1)+E(5,3,1)*(g53p1)/(g53p1)+E(5,8,1)*(g58p1)/(g58p1)+E(6,3,1)*(g63p1)/(g63p1)+E(6,8,1)*(g68p1)/(g68p1) \\
& ecl5,1=E(1,7,1)*(g17p1)/(g17p1+g17p2+g17p3)+E(1,9,1)*(g19p1)/(g19p1)+E(1,10,1)*(g110p1+g110p2)/(g110p1+g110p2)+E(1,11,1)*(g111p1+g111p2+g111p3+g111p4)/(g111p1+g111p2+g111p3+g111p4)+E(1,15,1)*(g115p1+g115p2+g115p3+g115p4+g115p5+g115p6)/(g115p1+g115p2+g115p3+g115p4+g115p5+g115p6+g115p7+g115p8+g115p9+g115p10+g115p11+g115p12)+E(1,17,1)*(g117p1+g117p2+g117p3+g117p4)/(g117p1+g117p2+g117p3+g117p4)+E(7,7,1)*(g77p1)/(g77p1+g77p2)+E(7,9,1)*(g79p1)/(g79p1)+E(7,10,1)*(g710p1+g710p2)/(g710p1+g710p2)+E(7,11,1)*(g711p1+g711p2+g711p3+g711p4)/(g711p1+g711p2+g711p3+g711p4)+E(7,15,1)*(g715p1+g715p2+g715p3+g715p4+g715p5+g715p6+g715p7+g715p8+g715p9+g715p10+g715p11+g715p12)+E(7,17,1)*(g717p1+g717p2+g717p3+g717p4)/(g717p1+g717p2+g717p3+g717p4)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& 5+g715p6)/(g715p1+g715p2+g715p3+g715p4+g715p5+g715p6+g715p7+g715p8+g715p9)+E(7,17,1) \\
& *(g717p1+g717p2+g717p3+g717p4)/(g717p1+g717p2+g717p3+g717p4) \\
ecl6,1 &=E(8,7,1)*(g87p1)/(g87p1)+E(8,9,1)*(g89p1)/(g89p1)+E(8,10,1)*(g810p1+g810p2)/(g810p1+g \\
& 810p2)+E(8,11,1)*(g811p1+g811p2+g811p3+g811p4)/(g811p1+g811p2+g811p3+g811p4)+E(8,15,1) \\
& *(g815p1+g815p2+g815p3+g815p4+g815p5+g815p6)/(g815p1+g815p2+g815p3+g815p4+g815p5+g8 \\
& 15p6)+E(8,17,1)*(g817p1+g817p2+g817p3+g817p4)/(g817p1+g817p2+g817p3+g817p4)+E(9,7,1)*(g \\
& 97p1)/(g97p1)+E(9,9,1)*(g99p1)/(g99p1+g99p2)+E(9,10,1)*(g910p1+g910p2)/(g910p1+g910p2)+E(9 \\
& ,11,1)*(g911p1+g911p2+g911p3+g911p4)/(g911p1+g911p2+g911p3+g911p4)+E(9,15,1)*(g915p1+g \\
& 915p2+g915p3+g915p4+g915p5+g915p6)/(g915p1+g915p2+g915p3+g915p4+g915p5+g915p6+g915 \\
& p7+g915p8+g915p9)+E(9,17,1)*(g917p1+g917p2+g917p3+g917p4)/(g917p1+g917p2+g917p3+g917p \\
& 4) \\
ecl7,1 &=E(13,2,1)*(g132p1)/(g132p1)+E(13,4,1)*(g134p1)/(g134p1)+E(14,2,1)*(g142p1)/(g142p1)+E(\\
& 14,4,1)*(g144p1)/(g144p1) \\
ecl8,1 &=E(1,7,1)*(g17p1)/(g17p1+g17p2+g17p3)+E(1,9,1)*(g19p1)/(g19p1)+E(1,10,1)*(g110p1+g110 \\
& p2)/(g110p1+g110p2)+E(1,11,1)*(g111p1+g111p2+g111p3+g111p4)/(g111p1+g111p2+g111p3+g111 \\
& p4)+E(1,15,1)*(g115p1+g115p2+g115p3+g115p4+g115p5+g115p6)/(g115p1+g115p2+g115p3+g115p \\
& 4+g115p5+g115p6+g115p7+g115p8+g115p9+g115p10+g115p11+g115p12)+E(1,17,1)*(g117p1+g11 \\
& 7p2+g117p3+g117p4)/(g117p1+g117p2+g117p3+g117p4) \\
ecl9,1 &=E(1,1,1)*(g11p1+g11p2)/(g11p1+g11p2)+E(1,7,1)*(g17p2+g17p3)/(g17p1+g17p2+g17p3)+E(\\
& 1,15,1)*(g115p7+g115p8+g115p9+g115p10+g115p11)/(g115p1+g115p2+g115p3+g115p4+g115p5+g \\
& 115p6+g115p7+g115p8+g115p9+g115p10+g115p11+g115p12)+E(1,16,1)*(g116p1+g116p2+g116p3 \\
& +g116p4)/(g116p1+g116p2+g116p3+g116p4) \\
ecl10,1 &=E(2,2,1)*(g22p1+g22p2)/(g22p1+g22p2)+E(2,5,1)*(g25p1+g25p2)/(g25p1+g25p2)+E(2,14,1) \\
& *(g214p1+g214p2)/(g214p1+g214p2) \\
ecl11,1 &=E(3,3,1)*(g33p1+g33p2)/(g33p1+g33p2)+E(3,6,1)*(g36p1+g36p2)/(g36p1+g36p2)+E(3,9,1)* \\
& (g39p1+g39p2)/(g39p1+g39p2)+E(3,15,1)*(g315p1+g315p2+g315p3+g315p4+g315p5)/(g315p1+g31 \\
& 5p2+g315p3+g315p4+g315p5+g315p6)+E(3,16,1)*(g316p1+g316p2+g316p3+g316p4)/(g316p1+g316 \\
& p2+g316p3+g316p4) \\
ecl12,1 &=E(4,3,1)*(g43p1)/(g43p1)+E(4,8,1)*(g48p1)/(g48p1)+E(5,3,1)*(g53p1)/(g53p1)+E(5,8,1)*(g5 \\
& 8p1)/(g58p1) \\
ecl13,1 &=E(4,3,1)*(g43p1)/(g43p1)+E(4,8,1)*(g48p1)/(g48p1) \\
ecl14,1 &=E(2,2,1)*(g22p1)/(g22p1+g22p2)+E(2,5,1)*(g25p1)/(g25p1+g25p2)+E(2,14,1)*(g214p1)/(g2 \\
& 14p1+g214p2)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
ecl15,1 &= E(2,2,1) * (g22p2) / (g22p1 + g22p2) + E(2,5,1) * (g25p2) / (g25p1 + g25p2) + E(2,14,1) * (g214p2) / (g214p1 + g214p2) \\
ecl16,1 &= E(4,3,1) * (g43p1) / (g43p1) + E(4,8,1) * (g48p1) / (g48p1) + E(5,3,1) * (g53p1) / (g53p1) + E(5,8,1) * (g58p1) / (g58p1) \\
ecl17,1 &= E(1,7,1) * (g17p1) / (g17p1 + g17p2 + g17p3) + E(1,9,1) * (g19p1) / (g19p1) + E(1,10,1) * (g110p1 + g110p2) / (g110p1 + g110p2) + E(1,11,1) * (g111p1 + g111p2 + g111p3 + g111p4) / (g111p1 + g111p2 + g111p3 + g111p4) + E(1,15,1) * (g115p1 + g115p2 + g115p3 + g115p4 + g115p5 + g115p6) / (g115p1 + g115p2 + g115p3 + g115p4 + g115p5 + g115p6 + g115p7 + g115p8 + g115p9 + g115p10 + g115p11 + g115p12) + E(1,17,1) * (g117p1 + g117p2 + g117p3 + g117p4) / (g117p1 + g117p2 + g117p3 + g117p4) \\
ecl18,1 &= E(1,10,1) * (g110p1 + g110p2) / (g110p1 + g110p2) + E(1,11,1) * (g111p1 + g111p2 + g111p3 + g111p4) / (g111p1 + g111p2 + g111p3 + g111p4) + E(1,15,1) * (g115p1 + g115p2 + g115p3 + g115p4) / (g115p1 + g115p2 + g115p3 + g115p4 + g115p5 + g115p6 + g115p7 + g115p8 + g115p9 + g115p10 + g115p11 + g115p12) + E(1,17,1) * (g117p1 + g117p2) / (g117p1 + g117p2 + g117p3 + g117p4) + E(7,10,1) * (g710p1 + g710p2) / (g710p1 + g710p2) + E(7,11,1) * (g711p1 + g711p2 + g711p3 + g711p4) / (g711p1 + g711p2 + g711p3 + g711p4) + E(7,15,1) * (g715p1 + g715p2 + g715p3 + g715p4) / (g715p1 + g715p2 + g715p3 + g715p4 + g715p5 + g715p6 + g715p7 + g715p8 + g715p9) + E(7,17,1) * (g717p1 + g717p2) / (g717p1 + g717p2 + g717p3 + g717p4) \\
ecl19,1 &= E(1,7,1) * (g17p1) / (g17p1 + g17p2 + g17p3) + E(1,9,1) * (g19p1) / (g19p1) + E(1,15,1) * (g115p5 + g115p6) / (g115p1 + g115p2 + g115p3 + g115p4 + g115p5 + g115p6 + g115p7 + g115p8 + g115p9 + g115p10 + g115p11 + g115p12) + E(1,17,1) * (g117p3 + g117p4) / (g117p1 + g117p2 + g117p3 + g117p4) + E(7,7,1) * (g77p1) / (g77p1 + g77p2) + E(7,9,1) * (g79p1) / (g79p1) + E(7,15,1) * (g715p5 + g715p6) / (g715p1 + g715p2 + g715p3 + g715p4 + g715p5 + g715p6 + g715p7 + g715p8 + g715p9) + E(7,17,1) * (g717p3 + g717p4) / (g717p1 + g717p2 + g717p3 + g717p4) \\
ecl20,1 &= E(1,1,1) * (g11p1) / (g11p1 + g11p2) + E(1,7,1) * (g17p2) / (g17p1 + g17p2 + g17p3) + E(1,15,1) * (g115p7 + g115p8) / (g115p1 + g115p2 + g115p3 + g115p4 + g115p5 + g115p6 + g115p7 + g115p8 + g115p9 + g115p10 + g115p11 + g115p12) + E(1,16,1) * (g116p1 + g116p2) / (g116p1 + g116p2 + g116p3 + g116p4) \\
ecl21,1 &= E(1,1,1) * (g11p2) / (g11p1 + g11p2) + E(1,7,1) * (g17p3) / (g17p1 + g17p2 + g17p3) + E(1,15,1) * (g115p9 + g115p10) / (g115p1 + g115p2 + g115p3 + g115p4 + g115p5 + g115p6 + g115p7 + g115p8 + g115p9 + g115p10 + g115p11 + g115p12) + E(1,16,1) * (g116p3 + g116p4) / (g116p1 + g116p2 + g116p3 + g116p4) \\
ecl22,1 &= E(8,7,1) * (g87p1) / (g87p1) + E(8,9,1) * (g89p1) / (g89p1) + E(8,10,1) * (g810p1 + g810p2) / (g810p1 + g810p2) + E(8,11,1) * (g811p1 + g811p2 + g811p3 + g811p4) / (g811p1 + g811p2 + g811p3 + g811p4) + E(8,15,1) * (g815p1 + g815p2 + g815p3 + g815p4 + g815p5 + g815p6) / (g815p1 + g815p2 + g815p3 + g815p4 + g815p5 + g815p6) + E(8,17,1) * (g817p1 + g817p2 + g817p3 + g817p4) / (g817p1 + g817p2 + g817p3 + g817p4)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ecl23,1} = & E(8,10,1) * (g810p1 + g810p2) / (g810p1 + g810p2) + E(8,11,1) * (g811p1 + g811p2 + g811p3 + g811p4) \\ & / (g811p1 + g811p2 + g811p3 + g811p4) + E(8,15,1) * (g815p1 + g815p2 + g815p3 + g815p4) / (g815p1 + g815p2 \\ & + g815p3 + g815p4 + g815p5 + g815p6) + E(8,17,1) * (g817p1 + g817p2) / (g817p1 + g817p2 + g817p3 + g817p4) \\ & + E(9,10,1) * (g910p1 + g910p2) / (g910p1 + g910p2) + E(9,11,1) * (g911p1 + g911p2 + g911p3 + g911p4) / (g911 \\ & p1 + g911p2 + g911p3 + g911p4) + E(9,15,1) * (g915p1 + g915p2 + g915p3 + g915p4) / (g915p1 + g915p2 + g915p \\ & 3 + g915p4 + g915p5 + g915p6 + g915p7 + g915p8 + g915p9) + E(9,17,1) * (g917p1 + g917p2) / (g917p1 + g917p2 \\ & + g917p3 + g917p4) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ecl24,1} = & E(8,7,1) * (g87p1) / (g87p1) + E(8,9,1) * (g89p1) / (g89p1) + E(8,15,1) * (g815p5 + g815p6) / (g815p1 + \\ & g815p2 + g815p3 + g815p4 + g815p5 + g815p6) + E(8,17,1) * (g817p3 + g817p4) / (g817p1 + g817p2 + g817p3 + g \\ & 817p4) + E(9,7,1) * (g97p1) / (g97p1) + E(9,9,1) * (g99p1) / (g99p1 + g99p2) + E(9,15,1) * (g915p5 + g915p6) / (g \\ & 915p1 + g915p2 + g915p3 + g915p4 + g915p5 + g915p6 + g915p7 + g915p8 + g915p9) + E(9,17,1) * (g917p3 + g9 \\ & 17p4) / (g917p1 + g917p2 + g917p3 + g917p4) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ecl25,1} = & E(3,3,1) * (g33p1) / (g33p1 + g33p2) + E(3,6,1) * (g36p1) / (g36p1 + g36p2) + E(3,9,1) * (g39p1) / (g39p \\ & 1 + g39p2) + E(3,15,1) * (g315p1 + g315p2) / (g315p1 + g315p2 + g315p3 + g315p4 + g315p5 + g315p6) + E(3,16, \\ & 1) * (g316p1 + g316p2) / (g316p1 + g316p2 + g316p3 + g316p4) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ecl26,1} = & E(3,3,1) * (g33p2) / (g33p1 + g33p2) + E(3,6,1) * (g36p2) / (g36p1 + g36p2) + E(3,9,1) * (g39p2) / (g39p \\ & 1 + g39p2) + E(3,15,1) * (g315p3 + g315p4) / (g315p1 + g315p2 + g315p3 + g315p4 + g315p5 + g315p6) + E(3,16, \\ & 1) * (g316p3 + g316p4) / (g316p1 + g316p2 + g316p3 + g316p4) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ecl27,1} = & E(1,11,1) * (g111p1 + g111p2) / (g111p1 + g111p2 + g111p3 + g111p4) + E(1,15,1) * (g115p1 + g115p2 \\ & + g115p3 + g115p4) / (g115p1 + g115p2 + g115p3 + g115p4 + g115p5 + g115p6 + g115p7 + g115p8 + g115p9 + g1 \\ & 15p10 + g115p11 + g115p12) + E(7,11,1) * (g711p1 + g711p2) / (g711p1 + g711p2 + g711p3 + g711p4) + E(7,15, \\ & 1) * (g715p1 + g715p2 + g715p3 + g715p4) / (g715p1 + g715p2 + g715p3 + g715p4 + g715p5 + g715p6 + g715p7 + \\ & g715p8 + g715p9) + E(8,11,1) * (g811p1 + g811p2) / (g811p1 + g811p2 + g811p3 + g811p4) + E(8,15,1) * (g815p \\ & 1 + g815p2 + g815p3 + g815p4) / (g815p1 + g815p2 + g815p3 + g815p4 + g815p5 + g815p6) + E(9,11,1) * (g911p1 \\ & + g911p2) / (g911p1 + g911p2 + g911p3 + g911p4) + E(9,15,1) * (g915p1 + g915p2 + g915p3 + g915p4) / (g915p1 \\ & + g915p2 + g915p3 + g915p4 + g915p5 + g915p6 + g915p7 + g915p8 + g915p9) + E(11,11,1) * (g1111p1 + g1111 \\ & p2) / (g1111p1 + g1111p2 + g1111p3 + g1111p4 + g1111p5) + E(11,15,1) * (g1115p1 + g1115p2 + g1115p3 + g11 \\ & 15p4) / (g1115p1 + g1115p2 + g1115p3 + g1115p4 + g1115p5 + g1115p6 + g1115p7 + g1115p8 + g1115p9) + E(1 \\ & 7,11,1) * (g1711p1 + g1711p2) / (g1711p1 + g1711p2 + g1711p3 + g1711p4) + E(17,15,1) * (g1715p1 + g1715p2 \\ & + g1715p3 + g1715p4) / (g1715p1 + g1715p2 + g1715p3 + g1715p4 + g1715p5 + g1715p6) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ecl28,1} = & E(1,11,1) * (g111p1 + g111p2) / (g111p1 + g111p2 + g111p3 + g111p4) + E(1,15,1) * (g115p1 + g115p2 \\ & + g115p3 + g115p4) / (g115p1 + g115p2 + g115p3 + g115p4 + g115p5 + g115p6 + g115p7 + g115p8 + g115p9 + g1 \\ & 15p10 + g115p11 + g115p12) + E(7,11,1) * (g711p1 + g711p2) / (g711p1 + g711p2 + g711p3 + g711p4) + E(7,15, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& 1) * (g_{715p1} + g_{715p2} + g_{715p3} + g_{715p4}) / (g_{715p1} + g_{715p2} + g_{715p3} + g_{715p4} + g_{715p5} + g_{715p6} + g_{715p7} + \\
& g_{715p8} + g_{715p9}) + E(8, 11, 1) * (g_{811p1} + g_{811p2}) / (g_{811p1} + g_{811p2} + g_{811p3} + g_{811p4}) + E(8, 15, 1) * (g_{815p1} + g_{815p2} + g_{815p3} + g_{815p4}) / (g_{815p1} + g_{815p2} + g_{815p3} + g_{815p4} + g_{815p5} + g_{815p6}) + E(9, 11, 1) * (g_{911p1} + g_{911p2}) / (g_{911p1} + g_{911p2} + g_{911p3} + g_{911p4}) + E(9, 15, 1) * (g_{915p1} + g_{915p2} + g_{915p3} + g_{915p4}) / (g_{915p1} + g_{915p2} + g_{915p3} + g_{915p4} + g_{915p5} + g_{915p6} + g_{915p7} + g_{915p8} + g_{915p9}) + E(17, 11, 1) * (g_{1711p1} + g_{1711p2}) / (g_{1711p1} + g_{1711p2} + g_{1711p3} + g_{1711p4}) + E(17, 15, 1) * (g_{1715p1} + g_{1715p2} + g_{1715p3} + g_{1715p4}) / (g_{1715p1} + g_{1715p2} + g_{1715p3} + g_{1715p4} + g_{1715p5} + g_{1715p6}) \\
& ecl_{29,1} = E(1, 11, 1) * (g_{111p1} + g_{111p2}) / (g_{111p1} + g_{111p2} + g_{111p3} + g_{111p4}) + E(1, 15, 1) * (g_{115p1} + g_{115p2} + g_{115p3} + g_{115p4}) / (g_{115p1} + g_{115p2} + g_{115p3} + g_{115p4} + g_{115p5} + g_{115p6} + g_{115p7} + g_{115p8} + g_{115p9} + g_{115p10} + g_{115p11} + g_{115p12}) + E(7, 11, 1) * (g_{711p1} + g_{711p2}) / (g_{711p1} + g_{711p2} + g_{711p3} + g_{711p4}) + E(7, 15, 1) * (g_{715p1} + g_{715p2} + g_{715p3} + g_{715p4}) / (g_{715p1} + g_{715p2} + g_{715p3} + g_{715p4} + g_{715p5} + g_{715p6} + g_{715p7} + g_{715p8} + g_{715p9}) + E(8, 11, 1) * (g_{811p1} + g_{811p2}) / (g_{811p1} + g_{811p2} + g_{811p3} + g_{811p4}) + E(8, 15, 1) * (g_{815p1} + g_{815p2} + g_{815p3} + g_{815p4}) / (g_{815p1} + g_{815p2} + g_{815p3} + g_{815p4} + g_{815p5} + g_{815p6}) + E(9, 11, 1) * (g_{911p1} + g_{911p2}) / (g_{911p1} + g_{911p2} + g_{911p3} + g_{911p4}) + E(9, 15, 1) * (g_{915p1} + g_{915p2} + g_{915p3} + g_{915p4}) / (g_{915p1} + g_{915p2} + g_{915p3} + g_{915p4} + g_{915p5} + g_{915p6} + g_{915p7} + g_{915p8} + g_{915p9}) + E(17, 11, 1) * (g_{1711p1} + g_{1711p2}) / (g_{1711p1} + g_{1711p2} + g_{1711p3} + g_{1711p4}) + E(17, 15, 1) * (g_{1715p1} + g_{1715p2} + g_{1715p3} + g_{1715p4}) / (g_{1715p1} + g_{1715p2} + g_{1715p3} + g_{1715p4} + g_{1715p5} + g_{1715p6}) \\
& ecl_{30,1} = E(1, 10, 1) * (g_{110p1}) / (g_{110p1} + g_{110p2}) + E(1, 11, 1) * (g_{111p3}) / (g_{111p1} + g_{111p2} + g_{111p3} + g_{111p4}) + E(1, 17, 1) * (g_{117p1}) / (g_{117p1} + g_{117p2} + g_{117p3} + g_{117p4}) + E(7, 10, 1) * (g_{710p1}) / (g_{710p1} + g_{710p2}) + E(7, 11, 1) * (g_{711p3}) / (g_{711p1} + g_{711p2} + g_{711p3} + g_{711p4}) + E(7, 17, 1) * (g_{717p1}) / (g_{717p1} + g_{717p2} + g_{717p3} + g_{717p4}) + E(8, 10, 1) * (g_{810p1}) / (g_{810p1} + g_{810p2}) + E(8, 11, 1) * (g_{811p3}) / (g_{811p1} + g_{811p2} + g_{811p3} + g_{811p4}) + E(8, 17, 1) * (g_{817p1}) / (g_{817p1} + g_{817p2} + g_{817p3} + g_{817p4}) + E(9, 10, 1) * (g_{910p1}) / (g_{910p1} + g_{910p2}) + E(9, 11, 1) * (g_{911p3}) / (g_{911p1} + g_{911p2} + g_{911p3} + g_{911p4}) + E(9, 17, 1) * (g_{917p1}) / (g_{917p1} + g_{917p2} + g_{917p3} + g_{917p4}) + E(17, 10, 1) * (g_{1710p1}) / (g_{1710p1} + g_{1710p2}) + E(17, 11, 1) * (g_{1711p3}) / (g_{1711p1} + g_{1711p2} + g_{1711p3} + g_{1711p4}) + E(17, 17, 1) * (g_{1717p1}) / (g_{1717p1} + g_{1717p2} + g_{1717p3} + g_{1717p4}) \\
& ecl_{31,1} = E(1, 10, 1) * (g_{110p2}) / (g_{110p1} + g_{110p2}) + E(1, 11, 1) * (g_{111p4}) / (g_{111p1} + g_{111p2} + g_{111p3} + g_{111p4}) + E(1, 17, 1) * (g_{117p2}) / (g_{117p1} + g_{117p2} + g_{117p3} + g_{117p4}) + E(7, 10, 1) * (g_{710p2}) / (g_{710p1} + g_{710p2}) + E(7, 11, 1) * (g_{711p4}) / (g_{711p1} + g_{711p2} + g_{711p3} + g_{711p4}) + E(7, 17, 1) * (g_{717p2}) / (g_{717p1} + g_{717p2} + g_{717p3} + g_{717p4}) + E(8, 10, 1) * (g_{810p2}) / (g_{810p1} + g_{810p2}) + E(8, 11, 1) * (g_{811p4}) / (g_{811p1} + g_{811p2} + g_{811p3} + g_{811p4}) + E(8, 17, 1) * (g_{817p2}) / (g_{817p1} + g_{817p2} + g_{817p3} + g_{817p4}) + E(9, 10, 1) * (g_{910p2}) / (g_{910p1} + g_{910p2}) + E(9, 11, 1) * (g_{911p4}) / (g_{911p1} + g_{911p2} + g_{911p3} + g_{911p4}) + E(9, 17, 1) * (g_{917p2}) / (g_{917p1} + g_{917p2} + g_{917p3} + g_{917p4}) + E(17, 10, 1) * (g_{1710p2}) / (g_{1710p1} + g_{1710p2}) + E(17, 11, 1) * (g_{1711p4}) / (g_{1711p1} + g_{1711p2} + g_{1711p3} + g_{1711p4}) + E(17, 17, 1) * (g_{1717p2}) / (g_{1717p1} + g_{1717p2} + g_{1717p3} + g_{1717p4})
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ecl32,1} = & E(1,10,1) * (g110p1 + g110p2) / (g110p1 + g110p2) + E(1,11,1) * (g111p1 + g111p2 + g111p3 + g111p4) / (g111p1 + g111p2 + g111p3 + g111p4) + E(1,15,1) * (g115p1 + g115p2 + g115p3 + g115p4) / (g115p1 + g115p2 + g115p3 + g115p4 + g115p5 + g115p6 + g115p7 + g115p8 + g115p9 + g115p10 + g115p11 + g115p12) + E(1,17,1) * (g117p1 + g117p2) / (g117p1 + g117p2 + g117p3 + g117p4) + E(7,10,1) * (g710p1 + g710p2) / (g710p1 + g710p2) + E(7,11,1) * (g711p1 + g711p2 + g711p3 + g711p4) / (g711p1 + g711p2 + g711p3 + g711p4) + E(7,15,1) * (g715p1 + g715p2 + g715p3 + g715p4) / (g715p1 + g715p2 + g715p3 + g715p4 + g715p5 + g715p6 + g715p7 + g715p8 + g715p9) + E(7,17,1) * (g717p1 + g717p2) / (g717p1 + g717p2 + g717p3 + g717p4) + E(8,10,1) * (g810p1 + g810p2) / (g810p1 + g810p2) + E(8,11,1) * (g811p1 + g811p2 + g811p3 + g811p4) / (g811p1 + g811p2 + g811p3 + g811p4) + E(8,15,1) * (g815p1 + g815p2 + g815p3 + g815p4) / (g815p1 + g815p2 + g815p3 + g815p4 + g815p5 + g815p6) + E(8,17,1) * (g817p1 + g817p2) / (g817p1 + g817p2 + g817p3 + g817p4) + E(9,10,1) * (g910p1 + g910p2) / (g910p1 + g910p2) + E(9,11,1) * (g911p1 + g911p2 + g911p3 + g911p4) / (g911p1 + g911p2 + g911p3 + g911p4) + E(9,15,1) * (g915p1 + g915p2 + g915p3 + g915p4) / (g915p1 + g915p2 + g915p3 + g915p4 + g915p5 + g915p6 + g915p7 + g915p8 + g915p9) + E(9,17,1) * (g917p1 + g917p2) / (g917p1 + g917p2 + g917p3 + g917p4) + E(17,10,1) * (g1710p1 + g1710p2) / (g1710p1 + g1710p2) + E(17,11,1) * (g1711p1 + g1711p2 + g1711p3 + g1711p4) / (g1711p1 + g1711p2 + g1711p3 + g1711p4) + E(17,15,1) * (g1715p1 + g1715p2 + g1715p3 + g1715p4) / (g1715p1 + g1715p2 + g1715p3 + g1715p4 + g1715p5 + g1715p6) + E(17,17,1) * (g1717p1 + g1717p2) / (g1717p1 + g1717p2 + g1717p3 + g1717p4) \end{aligned}$$

$$\text{ecl33,1} = E(13,2,1) * (g132p1) / (g132p1) + E(13,4,1) * (g134p1) / (g134p1) + E(14,2,1) * (g142p1) / (g142p1) + E(14,4,1) * (g144p1) / (g144p1)$$

$$\text{ecl34,1} = E(4,3,1) * (g43p1) / (g43p1) + E(4,8,1) * (g48p1) / (g48p1) + E(5,3,1) * (g53p1) / (g53p1) + E(5,8,1) * (g58p1) / (g58p1) + E(6,3,1) * (g63p1) / (g63p1) + E(6,8,1) * (g68p1) / (g68p1)$$

$$\begin{aligned} \text{ecl35,1} = & E(1,10,1) * (g110p1 + g110p2) / (g110p1 + g110p2) + E(1,11,1) * (g111p1 + g111p2 + g111p3 + g111p4) / (g111p1 + g111p2 + g111p3 + g111p4) + E(1,15,1) * (g115p1 + g115p2 + g115p3 + g115p4) / (g115p1 + g115p2 + g115p3 + g115p4 + g115p5 + g115p6 + g115p7 + g115p8 + g115p9 + g115p10 + g115p11 + g115p12) + E(1,17,1) * (g117p1 + g117p2) / (g117p1 + g117p2 + g117p3 + g117p4) + E(7,10,1) * (g710p1 + g710p2) / (g710p1 + g710p2) + E(7,11,1) * (g711p1 + g711p2 + g711p3 + g711p4) / (g711p1 + g711p2 + g711p3 + g711p4) + E(7,15,1) * (g715p1 + g715p2 + g715p3 + g715p4) / (g715p1 + g715p2 + g715p3 + g715p4 + g715p5 + g715p6 + g715p7 + g715p8 + g715p9) + E(7,17,1) * (g717p1 + g717p2) / (g717p1 + g717p2 + g717p3 + g717p4) + E(8,10,1) * (g810p1 + g810p2) / (g810p1 + g810p2) + E(8,11,1) * (g811p1 + g811p2 + g811p3 + g811p4) / (g811p1 + g811p2 + g811p3 + g811p4) + E(8,15,1) * (g815p1 + g815p2 + g815p3 + g815p4) / (g815p1 + g815p2 + g815p3 + g815p4 + g815p5 + g815p6) + E(8,17,1) * (g817p1 + g817p2) / (g817p1 + g817p2 + g817p3 + g817p4) + E(9,10,1) * (g910p1 + g910p2) / (g910p1 + g910p2) + E(9,11,1) * (g911p1 + g911p2 + g911p3 + g911p4) / (g911p1 + g911p2 + g911p3 + g911p4) + E \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& (9,15,1)*(g_{915p1}+g_{915p2}+g_{915p3}+g_{915p4})/(g_{915p1}+g_{915p2}+g_{915p3}+g_{915p4}+g_{915p5}+g_{915p6}+g_{915p7}+g_{915p8}+g_{915p9})+E(9,17,1)*(g_{917p1}+g_{917p2})/(g_{917p1}+g_{917p2}+g_{917p3}+g_{917p4}) \\
& ecl_{36,1}=E(4,4,1)*(g_{44p1})/(g_{44p1}) \\
& ecl_{37,1}=E(4,3,1)*(g_{43p1})/(g_{43p1})+E(4,8,1)*(g_{48p1})/(g_{48p1}) \\
& ecl_{38,1}=E(2,14,1)*(g_{214p1}+g_{214p2})/(g_{214p1}+g_{214p2})+E(5,14,1)*(g_{514p1})/(g_{514p1}) \\
& ecl_{39,1}=E(5,3,1)*(g_{53p1})/(g_{53p1})+E(5,8,1)*(g_{58p1})/(g_{58p1}) \\
& ecl_{40,1}=E(5,2,1)*(g_{52p1})/(g_{52p1})+E(5,5,1)*(g_{55p1})/(g_{55p1})+E(5,14,1)*(g_{514p1})/(g_{514p1}) \\
& ecl_{41,1}=E(5,2,1)*(g_{52p1})/(g_{52p1})+E(5,5,1)*(g_{55p1})/(g_{55p1})+E(5,14,1)*(g_{514p1})/(g_{514p1}) \\
& ecl_{42,1}=E(6,5,1)*(g_{65p1})/(g_{65p1})+E(6,6,1)*(g_{66p1})/(g_{66p1}) \\
& ecl_{43,1}=E(2,2,1)*(g_{22p1})/(g_{22p1}+g_{22p2})+E(2,5,1)*(g_{25p1})/(g_{25p1}+g_{25p2})+E(2,14,1)*(g_{214p1})/(g_{214p1}+g_{214p2})+E(5,2,1)*(g_{52p1})/(g_{52p1})+E(5,5,1)*(g_{55p1})/(g_{55p1})+E(5,14,1)*(g_{514p1})/(g_{514p1}) \\
& ecl_{44,1}=E(2,2,1)*(g_{22p1}+g_{22p2})/(g_{22p1}+g_{22p2})+E(2,14,1)*(g_{214p1}+g_{214p2})/(g_{214p1}+g_{214p2})+E(5,2,1)*(g_{52p1})/(g_{52p1})+E(5,14,1)*(g_{514p1})/(g_{514p1}) \\
& ecl_{45,1}=E(6,3,1)*(g_{63p1})/(g_{63p1})+E(6,8,1)*(g_{68p1})/(g_{68p1}) \\
& ecl_{46,1}=E(6,5,1)*(g_{65p1})/(g_{65p1})+E(6,6,1)*(g_{66p1})/(g_{66p1}) \\
& ecl_{47,1}=E(7,7,1)*(g_{77p1})/(g_{77p1}+g_{77p2})+E(7,9,1)*(g_{79p1})/(g_{79p1})+E(7,10,1)*(g_{710p1}+g_{710p2})/(g_{710p1}+g_{710p2})+E(7,11,1)*(g_{711p1}+g_{711p2}+g_{711p3}+g_{711p4})/(g_{711p1}+g_{711p2}+g_{711p3}+g_{711p4})+E(7,15,1)*(g_{715p1}+g_{715p2}+g_{715p3}+g_{715p4}+g_{715p5}+g_{715p6})/(g_{715p1}+g_{715p2}+g_{715p3}+g_{715p4}+g_{715p5}+g_{715p6}+g_{715p7}+g_{715p8}+g_{715p9})+E(7,17,1)*(g_{717p1}+g_{717p2}+g_{717p3}+g_{717p4})/(g_{717p1}+g_{717p2}+g_{717p3}+g_{717p4}) \\
& ecl_{48,1}=E(7,1,1)*(g_{71p1})/(g_{71p1})+E(7,7,1)*(g_{77p2})/(g_{77p1}+g_{77p2})+E(7,15,1)*(g_{715p7}+g_{715p8})/(g_{715p1}+g_{715p2}+g_{715p3}+g_{715p4}+g_{715p5}+g_{715p6}+g_{715p7}+g_{715p8}+g_{715p9})+E(7,16,1)*(g_{716p1}+g_{716p2})/(g_{716p1}+g_{716p2}) \\
& ecl_{49,1}=E(1,1,1)*(g_{11p1})/(g_{11p1}+g_{11p2})+E(1,7,1)*(g_{17p2})/(g_{17p1}+g_{17p2}+g_{17p3})+E(1,15,1)*(g_{115p7}+g_{115p8})/(g_{115p1}+g_{115p2}+g_{115p3}+g_{115p4}+g_{115p5}+g_{115p6}+g_{115p7}+g_{115p8}+g_{115p9}+g_{115p10}+g_{115p11}+g_{115p12})+E(1,16,1)*(g_{116p1}+g_{116p2})/(g_{116p1}+g_{116p2}+g_{116p3}+g_{116p4})+E(7,1,1)*(g_{71p1})/(g_{71p1})+E(7,7,1)*(g_{77p2})/(g_{77p1}+g_{77p2})+E(7,15,1)*(g_{715p7}+g_{715p8})/(g_{715p1}+g_{715p2}+g_{715p3}+g_{715p4}+g_{715p5}+g_{715p6}+g_{715p7}+g_{715p8}+g_{715p9})+E(7,16,1)*(g_{716p1}+g_{716p2})/(g_{716p1}+g_{716p2}) \\
&)
\end{aligned}$$

Partition 2 :

$$\begin{aligned}
& ecl_{1,1}=E(13,13,1)*(g_{1313p1})/(g_{1313p1}) \\
& ecl_{1,2}=E(13,13,2)*(g_{1313p1})/(g_{1313p1}) \\
& ecl_{1,3}=E(13,13,3)*(g_{1313p1})/(g_{1313p1})
\end{aligned}$$

$ec11,4=E(13,13,4)*(g1313p1)/(g1313p1)$
 $ec11,5=E(13,13,5)*(g1313p1)/(g1313p1)$
 $ec11,6=E(13,13,6)*(g1313p1)/(g1313p1)$
 $ec11,7=E(13,13,7)*(g1313p1)/(g1313p1)$
 $ec11,8=E(13,13,8)*(g1313p1)/(g1313p1)$
 $ec11,9=E(13,13,9)*(g1313p1)/(g1313p1)$
 $ec11,10=E(13,13,10)*(g1313p1)/(g1313p1)$
 $ec11,11=E(13,13,11)*(g1313p1)/(g1313p1)$
 $ec11,12=E(13,13,12)*(g1313p1)/(g1313p1)$
 $ec11,13=E(13,13,13)*(g1313p1)/(g1313p1)$
 $ec11,14=E(13,13,14)*(g1313p1)/(g1313p1)$
 $ec11,15=E(13,13,15)*(g1313p1)/(g1313p1)$
 $ec11,16=E(13,13,16)*(g1313p1)/(g1313p1)$
 $ec11,17=E(13,13,17)*(g1313p1)/(g1313p1)$

B.11. Matriz directa para el modelo de Cadena de Suministro

Matriz directa para la Partición de ciclo 1

| | L1 | L2 | L3 | L4 | L5 | L6 | L7 | L8 |
|------|----|----|----|----|----|----|----|----|
| cl1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| cl10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| | | | | | | | | |
|------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| cl18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl19 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| cl21 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| cl22 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl23 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl24 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl26 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl27 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl28 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl29 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl30 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl31 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl32 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl33 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl34 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl35 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl36 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl37 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl38 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl39 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl41 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl42 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl43 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl44 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl45 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl46 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl47 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl48 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl49 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| cl50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| cl51 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl52 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl53 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl54 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl55 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl56 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl57 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| | | | | | | | | |
|------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| cl58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl59 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl60 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl61 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl62 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl63 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl64 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl65 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl66 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl67 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl68 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl69 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl70 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl71 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl72 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl73 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl74 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| cl75 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| cl76 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl77 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl78 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl79 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl81 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl82 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl83 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl84 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl85 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl86 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl87 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl88 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl89 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl90 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl91 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |

| | L9 | L10 | L11 | L12 | L13 | L14 | L15 | L16 |
|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| cl1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| | | | | | | | | |
|------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| cl5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl10 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| cl12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl14 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl15 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl19 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl21 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl22 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl23 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl24 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| cl26 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| cl27 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl28 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl29 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl30 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl31 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl32 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl33 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl34 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl35 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl36 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl37 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl38 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl39 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl40 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl41 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl42 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl43 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl44 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| | | | | | | | | |
|------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| cl45 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl46 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl47 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl48 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl49 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl51 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl52 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl53 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl54 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl55 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl56 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl57 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| cl58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| cl59 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| cl60 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl61 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl62 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl63 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl64 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| cl65 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl66 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl67 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl68 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl69 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| cl70 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl71 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| cl72 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| cl73 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl74 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl75 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl76 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl77 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl78 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl79 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl81 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl82 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl83 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl84 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| | | | | | | | | |
|------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| cl85 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl86 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl87 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl88 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl89 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl90 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl91 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| | L17 | L18 | L19 | L20 | L21 | L22 | L23 | L24 |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| cl1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| cl2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| cl6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl19 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| cl20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl21 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl22 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl23 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl24 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl26 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl27 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| cl28 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl29 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl30 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl31 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| | | | | | | | | |
|------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| cl32 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl33 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl34 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl35 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl36 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl37 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl38 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl39 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl41 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl42 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl43 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl44 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl45 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl46 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl47 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| cl48 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl49 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl51 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl52 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl53 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl54 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl55 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl56 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl57 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl59 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl60 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| cl61 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| cl62 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl63 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl64 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl65 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl66 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl67 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| cl68 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| cl69 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl70 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl71 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| | | | | | | | | |
|------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| cl72 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl73 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl74 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| cl75 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl76 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl77 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| cl78 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl79 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl81 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| cl82 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| cl83 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl84 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl85 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl86 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl87 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl88 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl89 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl90 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl91 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |

| | L25 | L26 | L27 | L28 | L29 | L30 | L31 | L32 | L33 | L34 | L35 | L36 |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| cl1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| cl2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| cl3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl4 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl5 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| cl6 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| cl7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl8 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl11 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl17 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |

| | | | | | | | | | | | | |
|------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| cl19 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl21 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl22 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl23 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| cl24 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl26 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl27 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| cl28 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| cl29 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| cl30 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| cl31 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| cl32 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| cl33 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl34 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl35 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| cl36 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl37 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl38 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl39 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl41 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl42 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl43 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl44 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl45 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl46 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl47 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| cl48 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl49 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl50 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl51 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| cl52 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl53 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl54 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl55 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl56 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| cl57 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl58 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| | | | | | | | | | | | | |
|------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| cl59 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl60 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| cl61 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl62 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| cl63 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl64 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| cl65 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl66 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl67 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl68 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl69 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| cl70 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl71 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl72 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| cl73 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl74 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| cl75 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| cl76 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl77 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl78 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| cl79 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl81 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl82 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl83 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl84 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl85 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl86 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl87 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl88 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl89 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| cl90 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| cl91 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |